P. 1

N° d'ordre : 42

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

(Mention Sciences)

PAR

Claude LATOUCHE

LICENCIÉ ÈS SCIENCES

1re Thèse - Étude des minéraux argileux de quelques sols nord-aquitains.

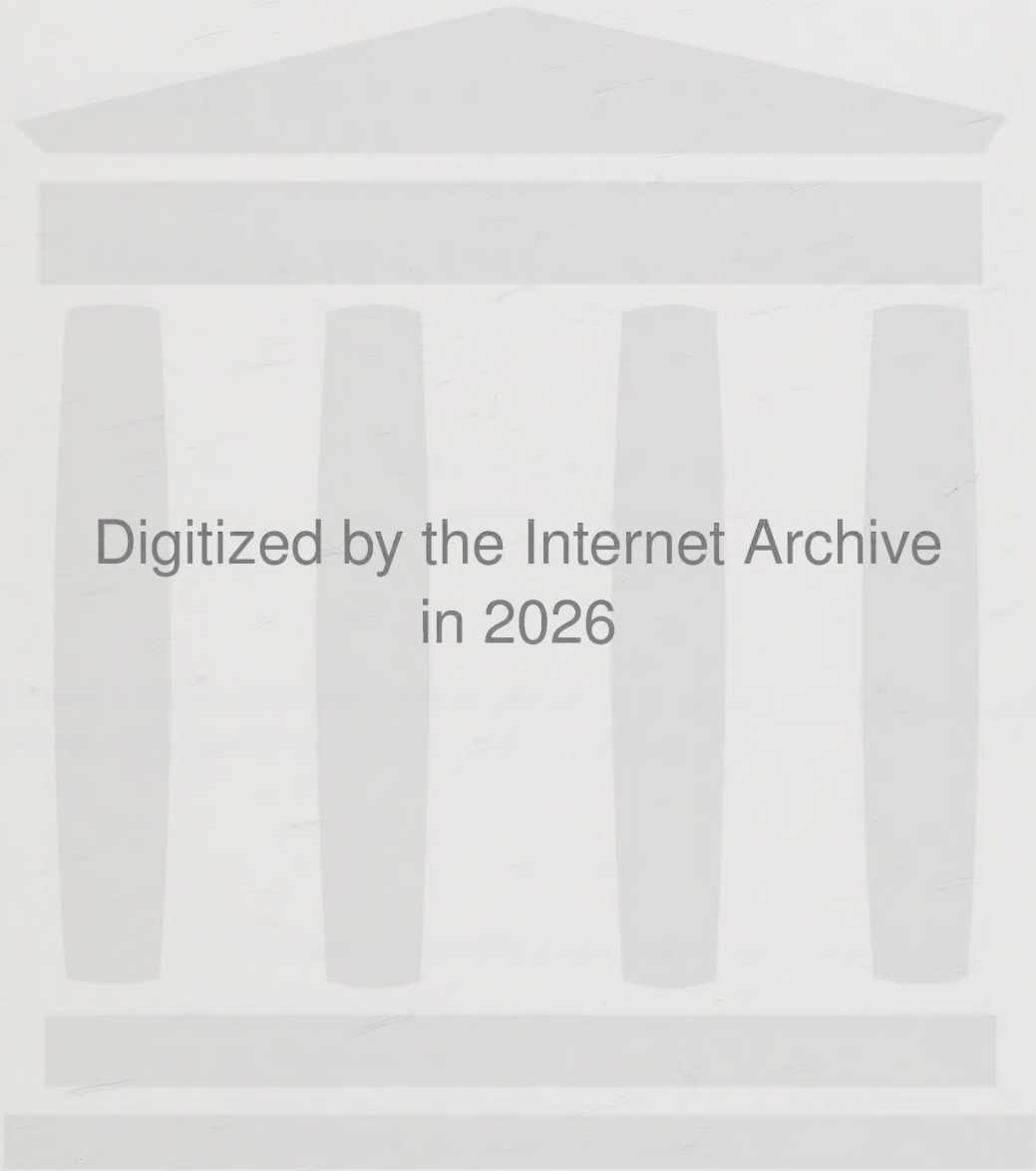
2e Thèse - Propositions données par la Faculté.

---

soutenues le 13 mai 1966, devant la Commission d'Examen :

MM. M. VIGNEAUX, Professeur.....	*Président*
F. BORDES, Professeur.....	*Examinateurs*
M. GOTTIS, Professeur.....	
P. LÉVÊQUE, Maître de conférences..	

— 1966 —


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549617_0006

N° d'ordre : 42

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

(Mention Sciences)

PAR

Claude LATOUCHE

LICENCIÉ ÈS SCIENCES

1re Thèse - Étude des minéraux argileux de quelques sols nord-aquitains.

2e Thèse - Propositions données par la Faculté.

soutenues le 13 mai 1966, devant la Commission d'Examen :

MM.	M. VIGNEAUX, Professeur.....	*Président*
	F. BORDES, Professeur.....	*Examinateurs*
	M. GOTTIS, Professeur.....	
	P. LÉVÊQUE, Maître de conférences..	

— 1966 —

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

ETUDE DES MINERAUX ARGILEUX

DE QUELQUES SOLS NORD-AQUITAINS

par

Claude Latouche

INTRODUCTION

Ce travail est consacré à quelques aspects de l'altération des principales formations géologiques affleurant dans le nord de l'Aquitaine.

L'édification des sols est l'une des conséquences les plus marquantes de l'altération des roches. Ce phénomène résulte de dégradations plus ou moins importantes des constituants minéraux. Parmi ces derniers, les argiles fournissent les renseignements les plus nuancés sur l'intensité de cette évolution. Leur étude a donc été le principal objet de nos recherches qui, à l'origine, avaient un but essentiellement géologique :

- *inventorier les composants et suivre les modifications du matériel argileux issu de formations soumises, dans une région donnée, à l'altération subaérienne.*

- *tenter de distinguer dans les sols les éléments résultant du seul fait de "l'héritage" (VAN BAREN, 1928) et ceux attribuables aux processus plus complexes de "transformation" (LUCAS, 1962).*

Au cours de cette démarche, nous avons été naturellement amené à étudier les sols eux-mêmes et à nous initier aux mécanismes complexes qui président à leur formation. C'est ainsi que nous avons dû rechercher plus particulièrement les influences que pouvaient avoir la composition des roches-mères et la nature génétique des profils sur l'orientation des dégradations consécutives à la pédogénèse. Seule l'utilisation conjuguée des techniques propres à la géologie et à la pédologie a pu nous permettre de dégager des particularités de chaque profil, les aspects généraux du comportement des minéraux argileux dans les sols nord-aquitains. Nous avons ainsi été conduit à réaliser une étude pédologique sommaire.

Les travaux antérieurs, tant régionaux que généraux, nous ont été fréquemment d'un grand secours :

Les ouvrages consacrés aux sols aquitains sont relativement nombreux. L'un des premiers est celui de BAUDRIMONT (1873). En 1895, RIESLER consacre un important chapitre de sa "Géologie Agricole" à l'étude des terrains tertiaires et quaternaires du sud de la France. Dans la première

partie de sa thèse ABDEL HALIM (1932) étudie quelques sols du Médoc. Ces ouvrages ne constituent pas à proprement parler des études pédologiques. Ils ressortent, soit de la géologie agricole aux méthodes souvent essentiellement descriptives, soit de la chimie agricole dont les techniques d'analyse globale traduisent mal l'évolution minéralogique résultant des altérations.

Dans l'étude des sols régionaux, les notions modernes de pédologie ne font vraiment leur apparition qu'avec le travail de LAFFORGUE, RIEDEL et FRANC DE FERRIERE en 1936. Consacré uniquement aux sols de vignoble de la région des "Graves", cet ouvrage contient des études très complètes de nombreux profils et trace la voie à des recherches plus générales. En 1960, ENJALBERT met en évidence l'influence prépondérante de la topographie sur la formation des sols. Plus récemment de nombreux travaux ont été publiés : COURAU (1962), DELMAS et DARTIGUES (1962), DELMAS et DUTIL (1964), JUSTE et DUTIL (1965). Ils concernent, le plus souvent, soit des zones très localisées, soit des problèmes très spécialisés. Enfin, en 1965, SEGUIN a présenté une étude très détaillée des sols du vignoble bordelais.

Si les études pédologiques consacrées aux sols aquitains sont assez nombreuses, les publications relatives aux argiles de ces sols sont par contre très rares. A notre connaissance, les seuls travaux effectués dans ce domaine sont ceux de FRANC DE FERRIERE, MILLOT et CAMEZ (1959), de FRANC DE FERRIERE (1962) et de LATOUCHE (1964). En outre, SEGUIN (1965) a présenté dans sa thèse quelques résultats d'analyse d'argiles dont il avait bien voulu nous confier la réalisation.

Sur le plan général les argiles des sols ont par contre fait l'objet de très nombreuses études. Parmi celles-ci, certaines nous ont plus particulièrement guidé dans nos recherches : HENIN (1947) ; BROWN et MAC EWAN (1950) ; MITCHELL W.A. (1955) ; CAMEZ, LUCAS et MILLOT (1959) ; MITCHELL B.D. (1961) ; CAMEZ (1962) ; JACKSON (1965). Ces travaux ont montré en particulier que la nature et l'évolution des minéraux argileux dans les profils dépendaient d'un certain nombre de facteurs au premier rang desquels figure le type génétique des sols. Actuellement, l'ensemble de ces phénomènes est donc relativement bien connu.

L'intérêt d'une étude régionale paraîtrait donc restreint si les sols aquitains, le plus souvent de nature complexe, ne nécessitaient pas une interprétation particulière des phénomènes généraux. La plupart des travaux mentionnés ci-dessus concernent en effet des sols bien homogènes, issus d'une seule roche-mère et n'ayant subi qu'une phase évolutive. En Aquitaine au contraire, la majorité des sols a été profondément remaniée par des travaux culturaux séculaires. Il y est en outre fréquent que, par suite de nombreux recouvrements géologiques, un même profil résulte de l'altération de plusieurs formations. Enfin, en raison de l'ancienneté de certaines roches-mères, des phases climatiques multiples ont souvent présidé aux pédogénèses successives. Leurs effets contraires et souvent antagonistes ont encore compliqué l'évolution des minéraux et des sols.

Deux idées directrices ont donc conduit la réalisation de ce travail :

1° - Le phénomène géologique : il s'agissait en premier lieu de définir la nature et l'évolution des minéraux argileux issus de l'altération des diverses formations. Il convenait ensuite d'étudier en détail les particularités observées à la lumière des données géologiques et pédologiques spécifiquement locales.

2° - Le phénomène pédologique et ses conséquences agronomiques : l'étude des cortèges argileux pouvait également revêtir un intérêt agronomique régional touchant en particulier la viticulture. L'inventaire géologique réalisé serait, certes, très incomplet du point de vue pédologique ; il pourrait toutefois constituer une première étape dans une voie conduisant à une meilleure connaissance des possibilités culturales nord-aquitaines. Ce sont en effet les minéraux argileux qui régissent étroitement les propriétés du complexe absorbant, directement responsable de la fertilité des sols.

En première partie de ce mémoire, nous exposerons les méthodes de travail et d'interprétation que nous avons utilisées. Nous nous attacherons à définir plus particulièrement les grandes familles

de minéraux argileux dont nous décrirons successivement les caractères spécifiques et les particularités que nous avons observées au cours de leur altération.

Dans la seconde partie sont consignées les observations effectuées sur le terrain et les données des analyses de laboratoire. Chacun des profils y fait l'objet d'une fiche rassemblant l'ensemble des résultats et leur interprétation.

Enfin la dernière partie est consacrée à la synthèse et aux conclusions. Celles-ci sont successivement examinées suivant quatre aspects complémentaires :

- *minéralogique : nature, comportement et origine des minéraux argileux rencontrés dans les sols étudiés.*
- *géologique : inventaire des phases argileuses livrées au cours de l'altération des principales formations géologiques nord-aquitaines.*
- *pédologique : importance relative des différents minéraux dans la fertilité des sols.*
- *agronomique : composition des phases argileuses des sols de quelques grandes régions viticoles girondines.*

PREMIÈRE PARTIE

MÉTHODES D'ÉTUDE

Analyse et identification des minéraux argileux

Chapitre Premier

MÉTHODES D'ÉTUDE

I.- ETUDE DE TERRAIN

I.- MODES DE PRELEVEMENTS

Le plus souvent les prélèvements ont été faits dans des fosses de 1 m à 1,50 m de profondeur, ou sur des coupes plus importantes préalablement rafraîchies : sommet de carrière, tranchées d'adduction d'eau, fossés de drainage, etc. Dans ces cas l'examen du profil est facile et l'observation en place des couleurs, des textures et des structures permet de distinguer nettement les divers horizons et d'effectuer un échantillonnage judicieux.

Parfois il a été fait usage de la tarière à main. Cet instrument permet d'atteindre une profondeur de 2 m par tranches successives de 25 cm d'épaisseur. L'observation du profil est alors moins aisée. En particulier les horizons d'accumulation peu épais et les contacts entre deux niveaux différents sont plus difficilement repérables. Les prises d'échantillons doivent alors être plus serrées de manière à ne pas négliger certains horizons peu apparents.

II.- OBSERVATION DES PROFILS

Afin de ne pas multiplier inutilement le nombre des analyses purement pédologiques, nous nous sommes attaché à effectuer une étude de terrain aussi détaillée que possible.

Parmi les renseignements recueillis certains concernent l'ensemble de la station étudiée, d'autres se rapportent au profil lui-même.

1°- Description générale de la station

Dans cette rubrique ont été consignés les caractères suivants :

a)- Localisation géographique :

Sur le terrain, l'emplacement du profil a été pointé sur la carte topographique en vue de la détermination ultérieure des coordonnées LAMBERT. La topographie générale de la station, la situation du profil par rapport à cette topographie, les conditions de drainage, une description sommaire de la végétation, ont également été relevées.

b)- Localisation géologique :

Une reconnaissance géologique détaillée de chacune des zones étudiées a été effectuée. Dans quelques cas, un rapide échantillonnage des affleurements voisins a été pratiqué afin de préciser le

cadre géologique de la station.

2° - Examen des profils

Au cours de cet examen, nous avons relevé les caractères suivants :

a)- Couleur des horizons :

L'observation de ces couleurs est particulièrement importante pour l'interprétation des profils : couleurs foncées des horizons humifères, couleurs claires des horizons lessivés, couleurs brunes des horizons d'accumulation par exemple.

b)- Texture :

La texture sableuse, argileuse ou limoneuse des divers horizons a été estimée en première approximation sur le terrain.

c)- Structure :

Certaines particularités structurales des sols ont été également notées. Par exemple : structure grenue des rendzines, structure polyédrique de certains horizons d'accumulation, structure prismatique de quelques gleys.

d)- Epaisseur :

Les divers caractères mentionnés ci-dessus permettent en général de définir avec précision les différents horizons. L'épaisseur de chacun d'eux a alors été notée ainsi que certaines particularités de leurs contacts.

3° - Remarque

Les échantillons recueillis ont été archivés à l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine et sont répertoriés dans la nomenclature générale des échantillons de terrains (série G.A.).

II.- ETUDE DE LABORATOIRE

I.- ANALYSES PEDOLOGIQUES

A leur arrivée au laboratoire les échantillons ont été séchés par simple exposition à l'air. Bien que la déshydratation ne présente pas d'inconvénients majeurs pour les analyses que nous avons entreprises, nous avons toujours évité le séchage à l'étuve afin de préserver au maximum la structure des phyllites argileuses.

Le séchage terminé, diverses analyses ont été réalisées.

1° - Granulométrie

La terre est d'abord dissociée grossièrement à la main et les éléments de taille supérieure à 2 mm sont éliminés grâce à un tamis n° 34 de la série AFNOR.

Conventionnellement les analyses ne portent plus alors que sur la fraction ayant traversé ce tamis. Celle-ci contient seule, évidemment, la partie active de la terre ou "terre fine".

Le fractionnement de celle-ci en classes granulométriques a été effectué de la manière suivante:

a)- Tamisage :

Par tamisage sous l'eau, l'échantillon est divisé en trois classes granulométriques :

- Fraction grossière : refus du tamis 24 AFNOR. Il s'agit donc de la fraction comprise entre 2 mm et 200 microns et correspondant à la classe des **sables grossiers** de la classification internationale des pédologues.

- Fraction moyenne : refus du tamis 18 AFNOR, ayant traversé le tamis 24. La granulométrie de cette fraction est donc comprise entre 200 et 50 microns et correspond à la classe des **sables fins.**

- Fraction fine : il s'agit de la fraction traversant le tamis 18 et ayant donc une granulométrie inférieure à 50 microns. Elle correspond à l'ensemble **limons + argiles.**

Le tamisage ne permet pas un fractionnement plus poussé et la séparation de ces classes granulométriques très fines s'effectue habituellement par la méthode de la densimétrie. Mais ces procédés étant très longs, il nous a paru intéressant de rechercher une méthode plus rapide.

b)- Apport de la diffractométrie X :

Les constituants de la fraction inférieure à 50 microns peuvent être classés en deux grands groupes :

- les minéraux argileux, d'une taille généralement inférieure à 5 microns.

- les "silts", de taille supérieure et constitués en majeure partie de quartz, de feldspaths, de calcite, et de minéraux ferrugineux.

Si l'on appelle D la somme des poids des minéraux des "silts" et C le poids total de la fraction inférieure à 50 microns, le poids d'argile A contenu dans cette fraction sera évidemment :

$$A = C - D$$

Connaissant par tamisage la proportion x en % de fraction inférieure à 50 microns contenue dans un poids donné de terre, le pourcentage d'argile contenu dans cette même quantité sera donc :

$$\% A = \frac{(C - D)\ x}{100}$$

Il suffit donc pour déterminer le pourcentage d'argile contenu dans un échantillon de doser les divers minéraux des "silts". Ceci est réalisable par diffraction des rayons X (voir annexe 1).

c)- Critique de la méthode :

Cette méthode ne peut évidemment aboutir à un fractionnement granulométrique détaillé. Elle permet cependant de connaître avec une précision suffisante la quantité d'argile contenue dans un horizon donné, ce qui, en pédologie, est souvent fondamental.

Ce procédé rapide conduit donc à fractionner l'échantillon en quatre classes :

2 mm à 200 microns : sables grossiers
200 à 50 microns : sables fins
inférieurs à 50 microns (limons
(argiles

En classant les argiles dans la fraction inférieure ou égale à 2 microns, les pédologues affectent à cette classe une définition purement granulométrique. Or une argile ne peut se définir que minéralogiquement. On sait en particulier qu'il existe des minéraux argileux d'une taille très nettement supérieure à 2 microns. Inversement des cristallites de quartz sont fréquemment rencontrées parmi les particules de taille inférieure à 2 microns.

Il nous est donc apparu préférable de ne considérer comme "argile" que la fraction exclusivement constituée de minéraux argileux.

La méthode que nous avons utilisée ne permet pas la subdivision entre limons grossiers et limons fins. Toutefois le pourcentage d'argile ainsi mis en évidence nous paraît refléter la réalité avec plus de fidélité.

Quant à l'erreur relative introduite par l'utilisation de cette méthode minéralogique, elle est du même ordre de grandeur que celle qui résulte de l'utilisation de la loi de STOCKES à la granulométrie de particules de formes diverses, lamellaires ou sphériques.

2° - Dosage des carbonates

Dans le cas des sols calcimorphes le dosage des carbonates a été effectué au calcimètre BERNARD. Cette opération a été conduite en deux temps afin de doser séparément le calcaire total (C_T) et le calcaire actif (Ca).

Le dosage du calcaire total a été effectué sur la totalité de la terre fine. Quant au calcaire actif (fines particules calcaires des fractions silteuses et argileuses), il a été dosé à partir de la fraction granulométrique de taille inférieure à 50 microns.

Ce procédé, utilisé de préférence à la méthode classique de DROUINEAU, à l'oxalate d'ammonium, présente l'avantage, en dehors de sa rapidité, d'être applicable aux horizons humifères, fréquents dans le cas des rendzines.

Enfin, l'analyse diffractométrique nous a été d'un grand secours pour la détection, dans certains sols calcimorphes, de faibles quantités de dolomite : $(CO_3)_2MgCa$.

3° - Mesure du pH.

La mesure de cette caractéristique importante des sols étant malheureusement difficile à réaliser sur le terrain, cette opération a été conduite en laboratoire à l'aide d'un pH.mètre PHOTOVOLT type 125.

La terre fine a été mélangée à l'eau dans la proportion de 1/2,5 et abandonnée une nuit afin de parfaire l'équilibre électro-ionique du mélange. Le pH a été mesuré le lendemain matin. Sur l'appareil il est possible d'apprécier la mesure à 2/100 d'unité près. Cependant la fidélité de l'instrument et la valeur intrinsèque du pH ne semblent pas autoriser à dépasser une précision de l'ordre du dixième.

4° - Dosage des cations échangeables

Il n'a pas été effectué d'une manière systématique sur tous les échantillons analysés. Les mesures pratiquées concernent principalement les sols de vignoble.

La mise en solution des cations métalliques échangeables a été réalisée par percolation de 250 cm^3 d'acétate d'ammonium neutre et normal sur 10 g de terre fine, selon la méthode préconisée par DUCHAUFOUR (1960).

Les teneurs du filtrat en Ca^{++}, K^{+} et Na^{+} ont ensuite été mesurées au photomètre à flamme ELECTRONEST.

Les résultats sont donnés, pour chacun des cations, en milli-équivalents pour 100 g de terre.

Le dosage du magnésium n'ayant pu être effectué, il n'a pas été possible de calculer la somme des cations métalliques échangeables (S). Par voie de conséquence nous n'avons pas pu déterminer le taux de saturation du complexe absorbant (V) exprimé par le rapport : $V = \frac{S \times 100}{T}$ où T représente la capacité totale d'échange.

5° – Observation des fractions détritiques grossières à la loupe binoculaire

Dans de nombreux cas cet examen s'est révélé particulièrement fructueux. Nous en citerons ici quelques exemples :

a)– Présence de micas :

Sols de BEAUTIRAN (Gironde) (profil n° 28). L'observation de la fraction sableuse de ce profil a fait apparaître l'existence de nombreuses paillettes de micas dans les fractions sableuses des horizons inférieurs. La diminution progressive de la taille des muscovites, puis leur disparition au sommet du profil ont permis d'expliquer l'abondance de la vermiculite dans la fraction fine de l'horizon supérieur, malgré l'absence de tout précurseur argileux.

b)– Mise en évidence de l'hétérogénéité d'un profil :

Dans le cas de sols complexes résultant de la superposition ou du mélange de plusieurs horizons géologiques, l'interprétation du profil est particulièrement délicate. On risque en effet d'attribuer à un processus de pédogénèse les différences de propriétés observées entre deux ou plusieurs niveaux géologiques distincts.

L'observation de la fraction sableuse peut alors apporter des précisions dans la mesure où l'hétérogénéité du profil s'accompagne de différences dans la morphoscopie des grains de sables (horizons à grains ronds – mats succédant à des horizons à grains non usés ou anguleux par ex.). Nous avons très fréquemment rencontré cette superposition dans les sols girondins où une mince pellicule de sable éolien recouvre d'anciens sols. Dans ces cas-là, la morphoscopie nous a toujours permis de reconnaître l'hétérogénéité du profil.

c)– Mise en évidence de minéraux divers :

Grâce à la morphoscopie nous avons pu souvent mettre en évidence divers minéraux ayant une signification génétique importante : cristaux de feldspaths, granules de limonite, etc.

6° – Etude diffractométrique selon la technique des poudres

Par diffraction des rayons X nous avons procédé très souvent à l'analyse de la totalité ou de l'une des fractions granulométriques de la terre fine. Il nous a aussi été possible de reconnaître divers minéraux grâce à leurs raies caractéristiques :

Minéraux	θ Cu Kα	d Å
Lépidocrocite	7°05	6,25
Goethite	10°60	4,18
Quartz	13°29	3,35
Feldspaths alcalins	13°70 à 13°80	3,25 à 3,27

Feldspaths plagioclases	13° 90 à 14°	3,18 à 3,20
Calcite	14° 70	3,03
Dolomite	15° 40	2,90

La reconnaissance de ces minéraux a souvent apporté d'utiles compléments d'informations dans l'interprétation pédologique des profils.

II. – ETUDE MINERALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE

Cette étude constituant l'objet essentiel de notre travail, il convenait d'apporter un soin particulier au choix des méthodes d'analyse et à celui de leurs modalités d'emploi. Trois techniques ont été utilisées ; ce sont par ordre d'importance : la diffractométrie, la thermogravimétrie et la microscopie électronique.

A. – DIFFRACTOMETRIE DES RAYONS X

Elle a été employée d'une manière systématique pour tous les échantillons recueillis. Elle constitue la technique analytique de base qui nous a fourni l'essentiel des renseignements concernant la nature et l'évolution des minéraux argileux.

Les méthodes utilisées pour la préparation et l'analyse qualitative et quantitative des échantillons sont exposées en détail en annexe 2. Seules seront examinées ici les grandes lignes des opérations effectuées.

1° – Préparation des échantillons

La littérature classique fournit d'abondants renseignements concernant la préparation des échantillons pour l'étude des argiles aux rayons X. Dans la mesure du possible les divers traitements proposés ont été réduits au maximum afin de préserver la structure originelle des minéraux

Pour la dispersion des particules argileuses en particulier, seuls l'attaque à l'eau oxygénée, l'agitation mécanique et les lavages à l'eau déminéralisée ont été utilisés. Ces traitements suffisent en général pour obtenir des suspensions stables dans lesquelles les phyllites d'une taille inférieure à 2 microns sont isolées par pipetage, en vue de la réalisation d'agrégats orientés.

2° – Analyse des échantillons au diffractomètre

L'appareil utilisé est un diffractomètre CGR type 20 équipé d'un monochromateur GUINIER. Seul le rayonnement Kα du cuivre a été employé. Dans le cas d'échantillons ferrugineux, l'utilisation du rayonnement du cobalt aurait été préférable afin d'éviter la fluorescence du fer qui se traduit sur les diagrammes par une importante élévation du fond continu.

Cependant, la radiation du cobalt est considérablement plus absorbée dans l'air que celle du cuivre (coefficients d'absorption respectifs : Co 13,35 ; Cu 8,67). Pour les argiles des sols, de cristallinité souvent médiocre, le rayonnement du cobalt ne peut donc pas être utilisé si l'on ne dispose pas d'un diffractomètre équipé d'un canal à vide.

Pour chaque échantillon trois diagrammes ont été réalisés :

a)– Echantillon brut : (N).

Dès sa sortie de l'étuve la lame d'argile est placée sur le diffractomètre et irradiée dans l'es-

pace angulaire compris entre 1° et 14°θ, ce qui correspond à des distances réticulaires allant de 45 Å à 3,15 Å. Cet intervalle est suffisant pour reconnaître tous les minéraux argileux. mais la seule observation du diagramme ainsi obtenu ne suffit pas toujours pour les identifier.

b)– Echantillon glycolé : (G).

La lame est placée pendant vingt-quatre heures dans une enceinte saturée en vapeur d'éthylène glycol. Les raies de base des minéraux du groupe de la montmorillonite passent alors de 12 ou 15 à 17 Å De la même manière les divers minéraux interstratifiés montmorillonitiques montrent un léger gonflement des feuillets.

c)– Echantillon chauffé à 550°C : (Ch).

Avant l'irradiation, la lame subit un chauffage progressif jusqu'à 550° C. Elle y est maintenue une heure puis refroidie lentement.

Ce test permet de différencier les chlorites des montmorillonites et des vermiculites. Seule la chlorite conserve en effet son équidistance réticulaire de base.

Quant aux minéraux interstratifiés leur devenir dépend de la nature de leurs constituants et le test de chaleur est souvent précieux pour leur identification.

B. – ANALYSE THERMOGRAVIMETRIQUE

Dans de nombreux cas. la détermination des minéraux argileux par diffractométrie a été complétée par une étude thermogravimétrique à la balance DAM, type UGINE-EYRAUD B 60, à enregistrement continu. Cet appareil est décrit en annexe 3.

1° – Principe général

Ce procédé consiste à étudier les variations de poids subies par un échantillon soumis à des températures régulièrement croissantes entre 20° et 1.000° C. Ces variations peuvent être positives ou négatives :

- gains de poids : oxydation.
- perte de poids : départ de CO_2 ; déshydratation.

Les températures auxquelles surviennent ces variations sont généralement caractéristiques d'une espèce minérale donnée. L'enregistrement simultané des poids et des températures peut donc constituer un critère d'identification minéralogique.

Dans le cas particulier de l'étude des argiles les variations observées sont toujours négatives puisqu'elles résultent de l'élimination de l'eau absorbée ou des radicaux hydroxyles.

2° – Méthode d'analyse et présentation des résultats

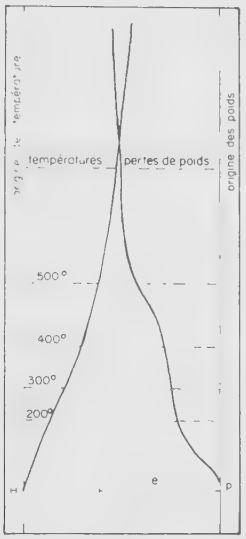
La thermobalance a été exclusivement utilisée pour l'étude des minéraux argileux. Les analyses ont donc été effectuées sur la fraction inférieure à 2 microns préalablement séchée à l'étuve à 70° C.

Les résultats ont été transcrits sous trois formes :

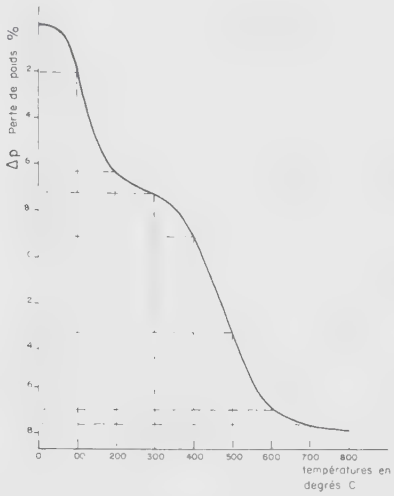
- thermogrammes, déduits de la courbe de déshydratation ainsi qu'il est expliqué en annexe 3.

- pertes de poids dans un intervalle thermique donné et exprimé en pour cent du poids de l'échantillon avant déshydratation.

diagrammes circulaires : (fig. 1). Dans ce mode de représentation les pertes de poids ont été portées sur 8 rayons faisant un angle de 45°. A chacun des rayons correspondent les pertes dans un intervalle de 100° C. Ces diagrammes facilitent les comparaisons et permettent de schématiser sous une forme réduite la déshydratation d'un échantillon entre 100° et 900° C. Ils ont, de plus, l'avantage de fournir une figuration caractéristique pour une espèce minérale donnée.



a. Diagramme de deshydratation fourni par la thermobalance



b. Thermogramme donnant les variations de poids en fonction de la température
Courbe déduite de (a) par transformation point par point

p Courbe des poids (décroissants de droite à gauche)
θ Courbe des températures (croissantes de gauche à droite)
e Déviation etalon pour une perte de poids de 10 mg
— — Repérage et mesures à effectuer

c. Diagramme circulaire déduit de (b)

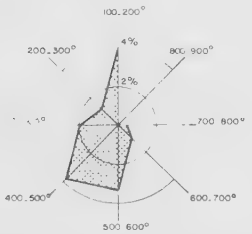


Fig. 1. ANALYSE THERMOGRAVIMÉTRIQUE
Présentation des résultats.

3° – Domaine d'utilisation de la balance thermique

La plupart des échantillons recueillis ont été analysés par thermogravimétrie. Dans ce mémoire, nous n'avons cependant présenté que les résultats apportant des informations intéressantes complétant celles déduites de l'étude aux rayons X.

C. – MICROSCOPIE ELECTRONIQUE

Les clichés présentés dans ce mémoire ont été effectués au Centre de Microscopie Electronique de la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Cette technique encore récente n'a été utilisée que dans quelques cas particuliers.

1° - Préparation des échantillons

Quelques gouttes de la suspension de la fraction inférieure à 2 microns isolée pour l'étude diffractométrique ont été diluées dans 15 cc environ d'eau bi-distillée.

Une goutte de cette dilution a ensuite été séchée sur une grille porte-objet préalablement recouverte d'une pellicule de collodion. Il n'a pas été fait usage de procédés d'empreintes ou d'ombrage.

Cette préparation simple a permis dans la plupart des cas une bonne observation des minéraux argileux.

2° - Observation au microscope électronique

Les grossissements utilisés varient entre 10.000 et 80.000 (grandissement photographique compris). Les clichés ainsi obtenus nous ont fourni trois sortes de renseignements :

a)- Faciès des cristaux :

La forme des cristaux, leur plus ou moins grande opacité au faisceau électronique, la régularité ou l'irrégularité de leur contour ont constitué l'essentiel des renseignements relatifs à l'identification des minéraux.

Certains d'entre eux, particulièrement difficiles à mettre en évidence par diffractométrie, ont pu être aisément repérés au microscope électronique grâce à leur faciès très caractéristique. C'est le cas en particulier des fines baguettes d'attapulgite et des tubes d'halloysite.

b)- Taille des cristaux et répartition granulométrique :

La taille exacte des cristallites est facilement mesurable sur les clichés réalisés. La granulométrie des éléments fins et éventuellement son évolution dans les divers horizons peuvent ainsi être observées. Enfin la microscopie électronique est particulièrement précieuse pour la mise en évidence de populations de cristaux de très petite taille (inférieure à 0,5 microns), que la granulométrie par densimétrie ne permet pas de distinguer aisément.

N'ayant pas utilisé de procédé d'ombrage, il n'a pas été possible de mesurer l'épaisseur des cristaux.

c)- Microdiffraction électronique :

Ces clichés, réalisés sur certains cristaux particuliers, sont difficilement interprétables. En l'absence de renseignements suffisamment précis sur la vitesse des électrons, il n'est pas possible d'identifier un minéral d'après son diagramme de diffraction. Cette technique nous a cependant fourni des renseignements intéressants sur la cristallinité de certaines particules.

Chapitre II

LES MINÉRAUX ARGILEUX

I.- STRUCTURE GENERALE ET CLASSIFICATION DES MINERAUX ARGILEUX

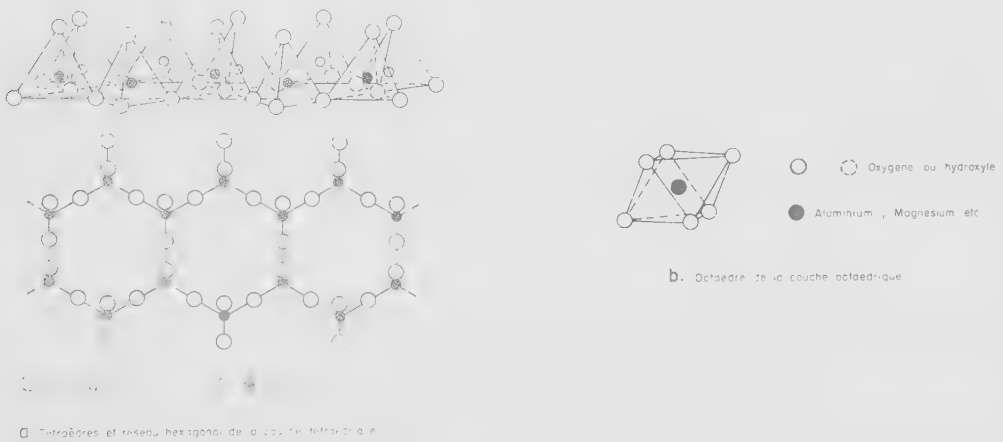
I.- STRUCTURE GENERALE DES MINERAUX ARGILEUX

La structure générale des minéraux argileux a été progressivement établie à la suite des travaux de MAUGUIN (1928) et de PAULING (1930) sur les micas.

Plus récemment les études de BRINDLEY (1951) et de GRIM (1953) ont permis de préciser ces structures et de montrer que tous ces minéraux résultaient de la juxtaposition de couches fondamentales de deux types :

1°- Couche tétraédrique

Un atome de silicium en position tétracoordonnée est situé au centre d'un tétraèdre dont chacun des sommets est occupé par un atome d'oxygène (fig. 2a).



a. Tétraèdres et réseau hexagonal de la couche tétraédrique

b. Octaèdre et couche octaédrique

Fig. 2 . REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES DES DEUX COUCHES FONDAMENTALES DES MINÉRAUX ARGILEUX (d'après GRIM 1953)

Les tétraèdres sont arrangés de telle façon que tous les sommets pointent dans la même direction et que l'ensemble de 6 tétraèdres constitue un réseau hexagonal (fig. 2a).

Eventuellement le silicium peut être remplacé par de l'aluminium ou du titane.

2° – Couche octaédrique

Un atome d'aluminium en position hexacoordonnée est situé au centre d'un octaèdre dont chacun des sommets est occupé par un ion hydroxyle ou oxygène (fig. 2b). L'ensemble des octaèdres constitue un réseau de type gibbsite à 2 Al^{+++} (type dioctaédrique). Les 2 Al^{+++} peuvent être remplacés par 3 Mg^{++} (type trioctaédrique).

L'agencement et le nombre de couches entrant en combinaison permettent d'établir une classification des minéraux argileux.

II. – CLASSIFICATION GENERALE DES MINERAUX ARGILEUX

A. – MINERAUX PHYLLITEUX SIMPLES

1° – Minéraux à deux couches : Famille de la kaolinite (fig. 3a)

Le feuillet élémentaire des minéraux de cette famille est constitué par l'association d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Symboliquement ces minéraux sont dits de type Te-Oc. L'ensemble du feuillet est électriquement neutre, les valences de chacune des couches s'équilibrant. L'épaisseur élémentaire du feuillet est de 7,15 Å et la formule structurale est $(OH)_4Al_2Si_2O_5$.

Au groupe de la kaolinite on peut rattacher deux types de minéraux assez fréquents (FLEURANCE et NICOLAS, 1964) :

a)– Kaolinites désordonnées ou "fire-clays" des auteurs anglo-saxons :

Elles dérivent des kaolinites vraies par des irrégularités du réseau suivant l'axe b.

b)– Halloysites :

Elles se déduisent de la kaolinite par des variations du réseau suivant b et a, variations qui entraînent une distorsion et un enroulement des feuillets. Ces minéraux de type hydraté ont pour formule $(OH)_4Al_2Si_2O_5(2\ H_2O)$ et leur équidistance fondamentale est d'environ 10,1 Å A la température de 60° C, l'halloysite se transforme d'une manière irréversible en métahalloysite, de formule $(OH)_4Al_2Si_2O_5$ et d'épaisseur 7,2 Å, difficilement discernable de la kaolinite.

2° – Minéraux à trois couches (fig. 3b et c).

Ces minéraux sont constitués de deux couches tétraédriques séparées par une couche octaédrique. Ce sont donc des minéraux de type Te-Oc-Te.

Le silicium étant remplacé dans la couche tétraédrique une fois sur quatre par de l'aluminium, il s'ensuit un déficit de charge compensé par des ions en position intercalaire. La liaison qui en résulte est plus ou moins efficace et, d'après la nature des cations interfoliaires et le nombre de couches d'eau pouvant éventuellement leur être associées, on peut distinguer plusieurs minéraux présentant cette disposition générale.

a)– Micas (fig. 3b) :

La liaison y est généralement assurée par des ions potassium. Le type dioctaédrique est la muscovite de formule :

$$(OH)_2\ Al_2\ Si_3\ \underset{K}{Al}\ O_{10}$$

et d'épaisseur élémentaire 10 Å.

L'illite dérive directement de la muscovite. Par rapport à cette dernière elle présente toutefois un déficit en ions K^+ qui sont partiellement remplacés par de l'eau (JONAS et THOMAS, 1960). La liaison entre feuillets s'en trouve donc affaiblie ce qui explique la vulnérabilité relative de ce minéral. Dans la couche octaédrique l'aluminium peut être partiellement remplacé par du fer. Les conséquences de cette substitution seront examinées ultérieurement.

b)– Montmorillonites (fig. 3c) :

Dans les minéraux de ce groupe, les liaisons entre feuillets sont considérablement affaiblies Divers cations et un nombre variable de couches de molécules d'eau peuvent donc se placer en position intercalaire. L'épaisseur élémentaire du feuillet n'est donc pas fixe et varie avec le cation associé. Avec le calcium, deux couches d'eau peuvent s'intercaler et c = 15,2 Å. Avec le sodium, il n'y a qu'une couche d'eau et c = 12,5 Å. (GRIM, 1953, "Applied Clay Mineralogy", p. 17).

Les liquides organiques peuvent se substituer à l'eau. Dans ce cas l'épaisseur du feuillet augmente considérablement ; elle atteint 17,7 Å avec l'éthylène-glycol par exemple.

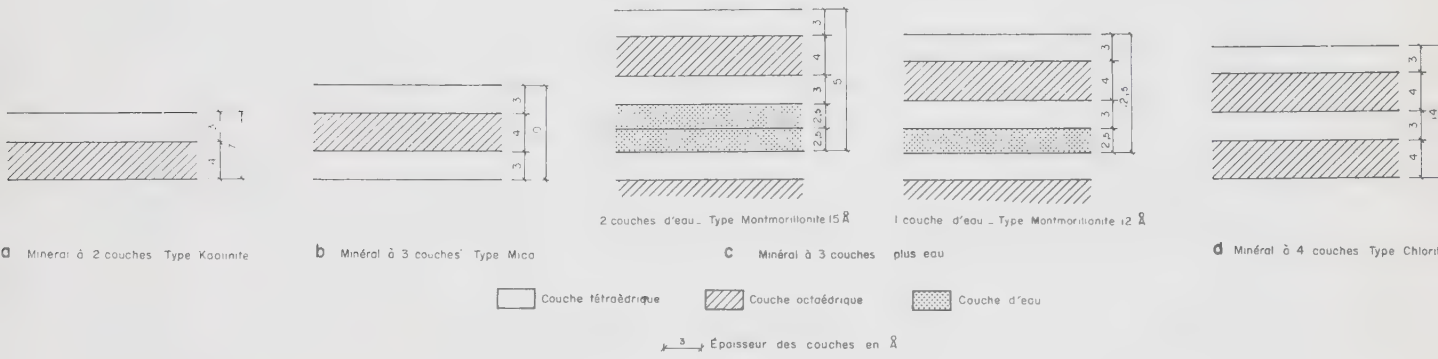


Fig. 3 . ARCHITECTURE GÉNÉRALE DES PRINCIPAUX MINÉRAUX ARGILEUX PHYLLITEUX

c)– Vermiculites :

Dans la vermiculite typique les cations intercalaires sont des ions magnésium. Le nombre de couches d'eau est alors fixé à 2 et, à l'inverse de la montmorillonite, l'espacement basal est constant à 14 Å.

Dans quelques cas cependant, divers cations (Ca^{++}, Ba^{++}, Li^+, Na^+) peuvent se substituer au magnésium. L'épaisseur élémentaire des feuillets est alors variable.

On a coutume de ranger parmi les vermiculites les minéraux argileux présentant une distance réticulaire de 14 Å stable au glycol, mais non à la chaleur. L'identité n'a cependant jamais été parfaitement établie.

3c – Minéraux à quatre couches : famille des chlorites (fig. 3d)

Ces minéraux résultent de l'association d'un feuillet de mica trioctaédrique de type Te-Oc-Te et d'une couche octaédrique de type "brucite".

Les chlorites présentent une équidistance réticulaire de base de 14 Å stable au glycol et à la chaleur.

Des chlorites gonflantes ont toutefois été signalées par certains auteurs (HONEYBORNE, 1951). Cette propriété est généralement interprétée comme résultant d'une mauvaise liaison entre les feuillets de "brucite" et de mica.

Divers types de chlorites peuvent être distingués d'après les remplacements de cations susceptibles de se produire dans la couche de mica ou de brucite.

B. – MINERAUX FIBREUX

La constitution de ces minéraux fut longtemps controversée. A l'heure actuelle la structure la plus couramment admise est celle en "briques creuses" proposée par BRADLEY en 1940. L'édifice se développerait d'une manière préférentielle dans une seule direction, d'où l'aspect fibreux du minéral. Des molécules d'eau rempliraient les canaux laissés libres entre les rangées de "briques".

Deux espèces minéralogiques présentent ce faciès fibreux :

1° – L'attapulgite ou palygorskite

d'équidistance fondamentale 10,5 Å et de formule : $(OH_2)_4\ (OH)_2\ Mg_5\ Si_8\ O_{20}\ 4\ H_2O$ (BRADLEY, 1940).

2° – La sépiolite

de distance réticulaire élémentaire 12,1 Å et de formule : $(OH_2)_4\ (OH)_6\ Mg_9\ Si_{12}\ O_{30}\ 6\ H_2O$ (NAGY et BRADLEY, 1955).

C. – MINERAUX ARGILEUX INTERSTRATIFIES

1° – Définition

Ces minéraux résultent de l'alternance suivant l'axe c de feuillets de nature différente. Pour cette raison, PEDRO (1965) désigne ces édifices par le terme de "polyphyllites" par opposition à celui de "monophyllites" sous lequel il range les minéraux argileux simples.

Très fréquents dans la nature et en particulier dans les sols, les minéraux interstratifiés se présentent sous de nombreuses variétés. Cette diversité résulte du nombre élevé de possibilités de combinaisons des trois facteurs régissant la nature de ces minéraux :

- le nombre de constituants
- le type d'interstratification
- la nature des minéraux associés.

Chacun de ces facteurs sera examiné successivement.

2° - Modalités d'interstratification

a)- Nombre de constituants :

On admet généralement que les interstratifications les plus fréquentes concernent des feuillets de deux types ; des "interstratifiés" à 3 ou 4 composants ont toutefois été signalés mais sont difficilement interprétables.

b)- Types d'interstratification :

MAC EWAN (1949) a montré que les interstratifications pouvaient être classées en trois groupes :

- régulières : deux constituants simples A et B se juxtaposent suivant une périodicité déterminée : ABAB ou AABBAABB par exemple.
- avec ségrégation en paquets de cristallites identiques : ces édifices difficiles à distinguer peuvent se ramener à l'un des deux autres groupes (LUCAS, 1962).
- irrégulières : les deux constituants s'agencent au hasard, sans logique.

Tous les interstratifiés rencontrés au cours de cette étude appartiennent à ce dernier groupe, dans lequel il est possible, à l'exemple de KUBLER (1961), de distinguer plusieurs catégories (fig. 4) :

- Catégorie 1 : l'irrégularité est limitée aux cristallites (fig. 4a). Toutes les particules ont un taux d'interstratification *a* identique, compris entre 0 et 1. KUBLER considère ce cas idéal comme purement théorique.
- Catégorie 2 : l'irrégularité affecte non seulement les cristallites mais la phase argileuse elle-même : le taux d'interstratification peut alors varier d'une particule à l'autre selon plusieurs modalités :

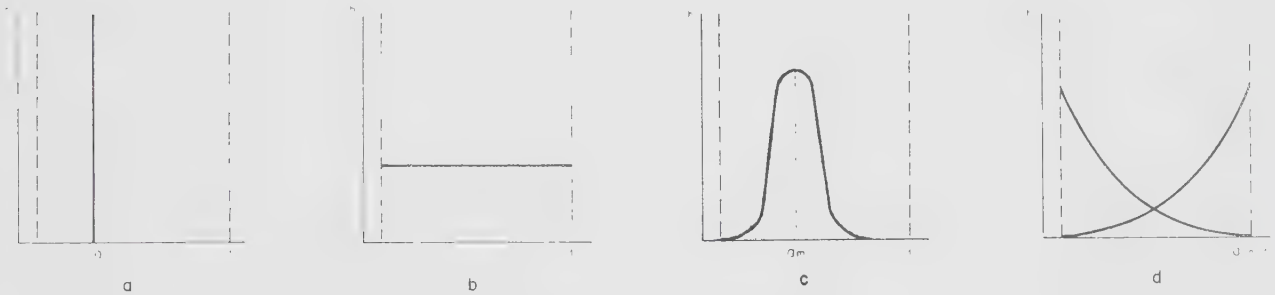


Fig. 4 . DISTRIBUTION DES CRISTALLITES EN FONCTION DE LEUR TAUX D'INTERSTRATIFICATION (d'ap. KUBLER 1961)

- *a* prend toutes les valeurs entre 0 et 1 et aucun taux d'interstratification n'est dominant (fig. 4b).
- L'abondance des particules en fonction de *a* suit une répartition gaussienne (fig. 4c). La majorité des particules se groupe donc autour d'un taux d'interstratification particulier (a_m).
- La population dominante coïncide avec l'un des deux types purs (fig. 4d). Il s'agit donc d'une particularité du cas précédent où a_m serait superposé à 0 ou à 1.

c)- Nature des minéraux associés :

Théoriquement tous les minéraux argileux simples sont susceptibles de s'interstratifier. On considère cependant que les feuillets les plus couramment rencontrés dans ces édifices sont les suivants :

illite - montmorillonite - vermiculite - chlorite.

En groupant deux à deux ces minéraux de base, on est conduit à distinguer six espèces d'interstratifiés :

illite-montmorillonite.	illite-vermiculite.
chlorite-montmorillonite.	chlorite-vermiculite.
montmorillonite-vermiculite.	illite-chlorite.

3°- Problème de la nomenclature des interstratifiés

L'identification exacte d'un édifice interstratifié doit nécessairement comporter des précisions sur chacun des facteurs examinés ci-dessus. Dans la mesure du possible, l'abondance de chacun des constituants doit également être notée.

Des difficultés nombreuses sont fréquemment rencontrées au cours de ces déterminations.

Certains auteurs se sont d'autre part élevés contre l'utilisation des noms de minéraux simples entrant dans la constitution de l'interstratifié pour la désignation de ce dernier : "En réalité ni l'illite véritable ni la montmorillonite ne sont présentes dans un interstratifié illite-montmorillonite" (LUCAS, 1962). Cet auteur propose donc une nomenclature basée sur l'épaisseur des feuillets interstratifiés.

Dans notre travail, nous avons utilisé le système de désignation classique. Il convient donc de ne pas donner aux termes utilisés un sens littéral ; "interstratifié chlorite-vermiculite", par exemple, ne sera pas pris comme synonyme "d'édifice formé par l'empilement de chlorite et de vermiculite" mais comme celui "d'édifice constitué de feuillets se comportant aux rayons X de la même manière que la chlorite et la vermiculite".

II.- ETUDE PRATIQUE DES MINERAUX ARGILEUX

Pour chaque groupe minéralogique précédemment décrit, nous nous attacherons à définir successivement :

- les critères d'identification spécifique.
- les variétés que nous avons rencontrées dans les sols.

L'ensemble de ces caractères concerne les trois techniques utilisées :

- Diffractométrie.
- Thermogravimétrie.
- Microscopie électronique.

A. – MINERAUX ARGILEUX SIMPLES

I. – FAMILLE DE LA KAOLINITE

1° – Diffractométrie

Les diagrammes de kaolinite typique obtenus à partir de lames orientées sont caractérisés par les deux raies fines et symétriques suivantes :

0 0 1 à 7,19 Å ; 0 0 2 à 3,57 Å .

Généralement, la raie 0 0 1 est légèrement plus intense que la raie 0 0 2 . Cette différence est particulièrement importante sur les diffractogrammes présentés à la figure 5.

Le traitement au glycol ne modifie pas la structure du réseau qui s'effondre, par contre, après avoir été chauffé à 550° C pendant une heure.

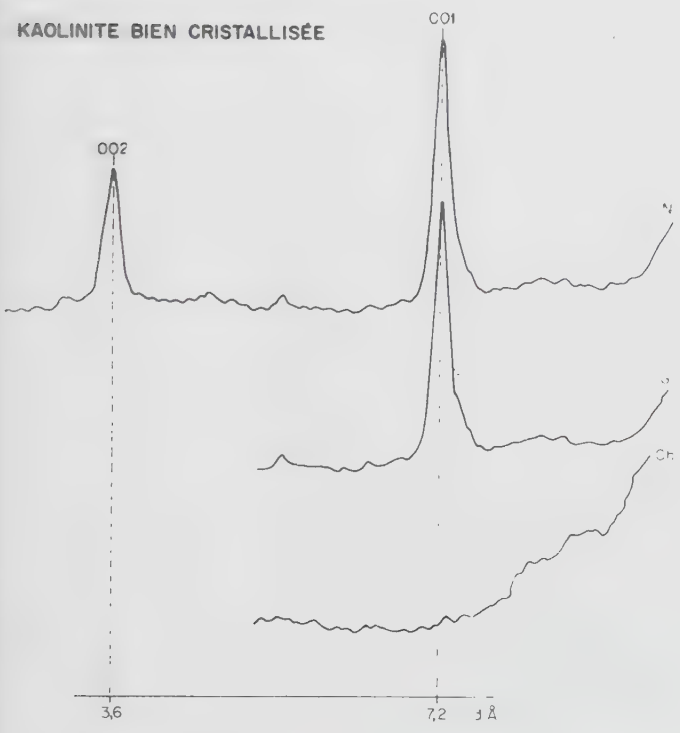


Fig. 5. DIFFRACTOGRAMMES D'UNE KAOLINITE DE SOL LATÉRITIQUE

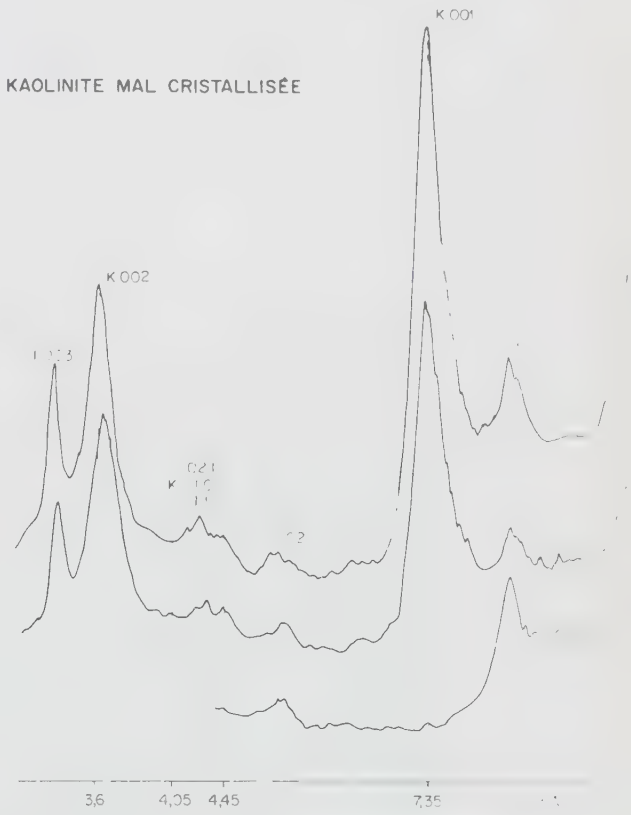


Fig. 6 . DIFFRACTOGRAMMES DE LA PHASE ARGILEUSE D'UN SOL SUR TERRASSE ALLUVIALE A GRAVIER_ St JULIEN (Gironde)

Dans les argiles des sols étudiés, la raie 0 0 1 des minéraux de ce groupe (fig. 6) présente fréquemment une forte dissymétrie et un léger décalage vers les grandes distances réticulaires

(d = 7,30 à 7,35 Å). L'apparition d'une série de raies floues et de faible intensité entre 4,45 Å et 4,05 Å témoigne d'une mauvaise orientation des cristaux. L'ensemble de ces caractères peut être attribué soit à des métahalloysites soit à des kaolinites désordonnées de type "fire-clays" décrites par BRINDLEY (in BROWN, 1961). Dans ce mémoire, nous désignerons ces minéraux sous le terme général de kaolinite mal cristallisée.

2° – Thermogravimétrie

En l'absence d'eau intercalaire, le chauffage de la kaolinite typique ne provoque pas de perte de poids notable à basse température. L'eau de constitution commence à se dégager à 515° C et la déshydratation est pratiquement terminée à 700° C. Dans cet intervalle la perte de poids atteint 11 à 12 % (fig. 7a).

Les kaolinites désordonnées et les métahalloysites présentent au contraire un important départ d'eau à basse température. En présence de divers autres minéraux argileux de type ouvert, il est cependant difficile d'estimer l'importance de cette perte caractéristique. Quant à l'eau de constitution, elle est libérée à des températures inférieures à celles des kaolinites vraies. Cet abaissement des températures de déshydratation apparaît avec une particulière netteté en comparant les diagrammes circulaires de kaolinites vraies et mal cristallisées (fig. 7 a, b et c).

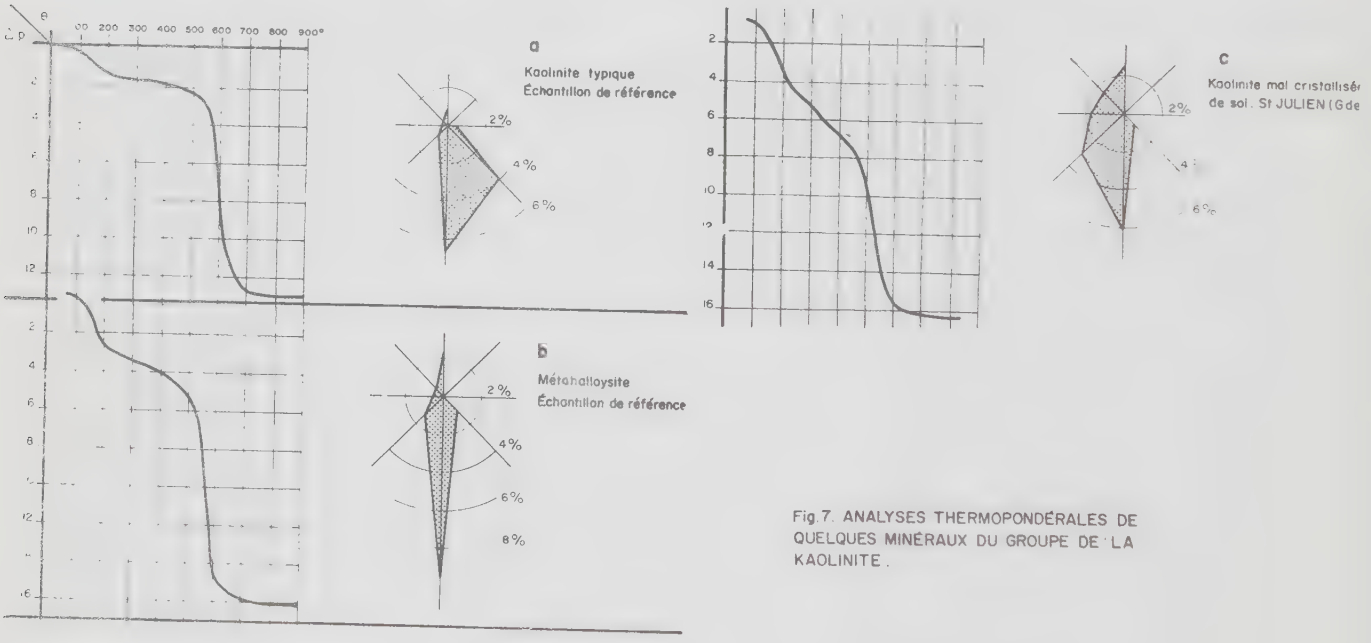


Fig.7. ANALYSES THERMOPONDÉRALES DE QUELQUES MINÉRAUX DU GROUPE DE LA KAOLINITE.

3° – Microscopie électronique

Dans le cas de kaolinites bien cristallisées, le microscope électronique permet d'observer des plaquettes hexagonales généralement bien délimitées et relativement transparentes aux électrons.

Dans la plupart des sols étudiés, la kaolinite n'offre pas ce faciès caractéristique. De fines pellicules irrégulièrement enroulées et partiellement opaques s'ordonnent autour de la forme initialement hexagonale des cristaux (fig. 8). Ceux-ci souvent réduits à des fantômes, semblent ainsi se déliter en tubes d'halloysite comme l'ont observé expérimentalement OBERLIN et TCHOUBAR en 1957.

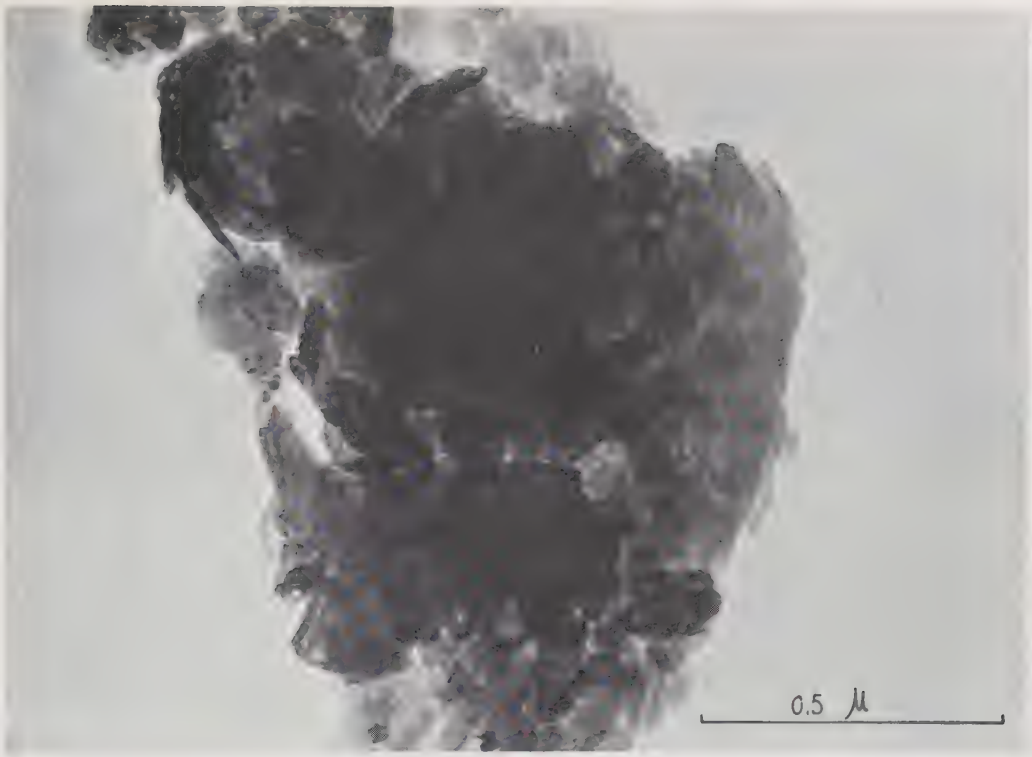


Fig. 8 . Photographie au microscope électronique d'une kaolinite mal cristallisée. Sol sur terrasse à graviers. St JULIEN (Gironde).

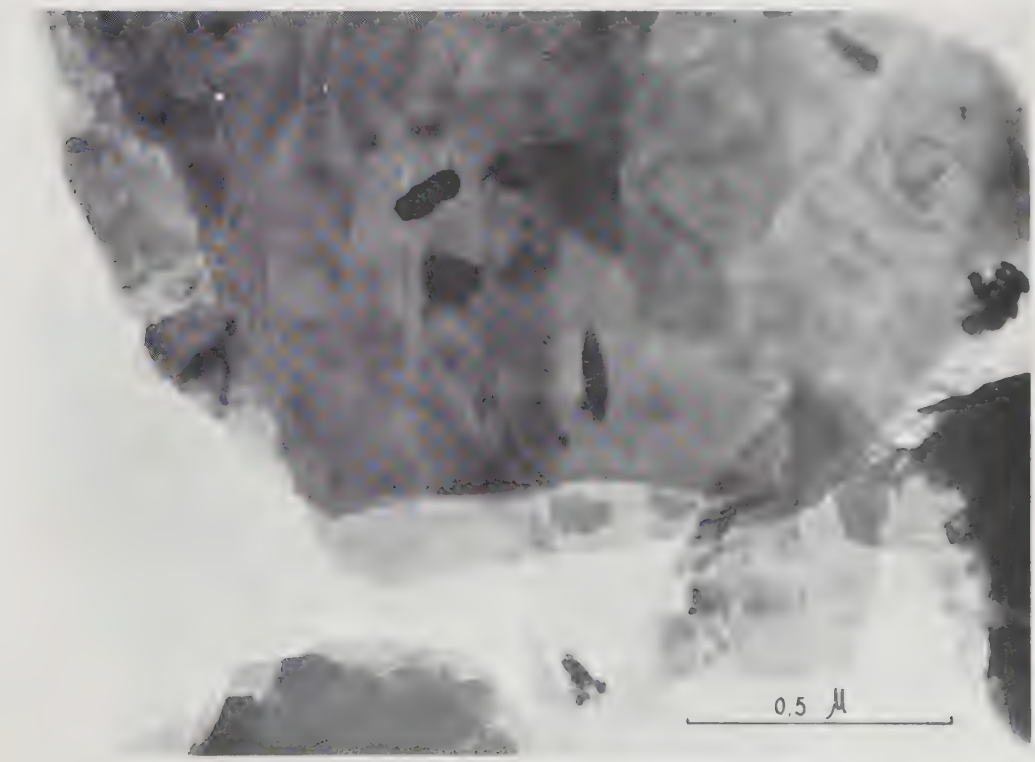


Fig. 9 . Photographie au microscope électronique d'une kaolinite de type " fire-clay ". Sol sur terrasse à graviers . St JULIEN (Gironde).

Dans quelques cas, le microscope électronique révèle l'existence d'une troisième variété de kaolinite (fig. 9) pseudo-hexagonale à contours plus ou moins parfaitement respectés. L'apparition de franges de moirés, interprétés par OBERLIN, TCHOUBAR et coll. (1961) comme caractéristiques des fire-clays, distingue ces minéraux des kaolinites typiques.

- Conclusions

L'identification des minéraux du groupe de la kaolinite est relativement aisée par diffractométrie X. Cependant, la distinction des diverses variétés de cette famille est délicate par cette seule méthode, dans le cas de mélanges.

L'apport de la thermogravimétrie dans ce domaine est limité. Par contre la microscopie électronique permet une identification nuancée des divers termes d'altération fréquents dans les sols.

L'utilisation conjuguée de ces méthodes nous a permis de suivre en détail l'évolution des kaolinites au cours de l'altération pédologique.

II. – GROUPE DES MICAS

1° – Diffractométrie

a)– Caractères généraux :

Les spectres de lames orientées de ces minéraux stables au glycol et à la chaleur se caractérisent par les raies suivantes (fig. 10) :

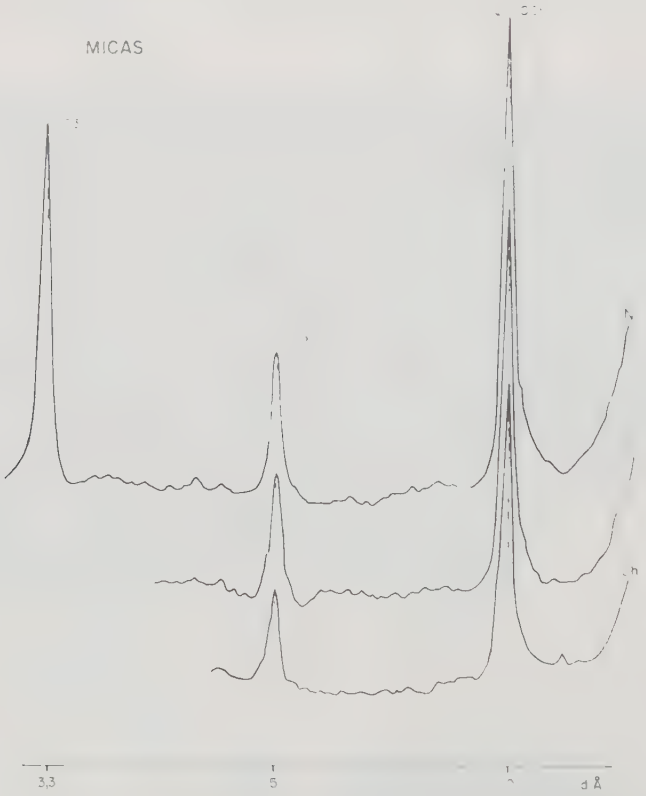


Fig. 10 DIFFRACTOGRAMMES D'UNE PHASE ARGILEUSE A MICAS
SOL SUR PERMO-TRIAS COL D'ESTIVÈRE (Haute Garonne)
ROCHE MÈRE ALTÉRÉE

0 0 1	à	10	Å	forte
0 0 2	à	5	Å	moyenne
0 0 3	à	3,32	Å	forte

On admet généralement (ALEXANIAN, ROUGE et VATAN, 1954), (MOLLOY and KERR, 1961) que dans le cas des muscovites les raies sont intenses, fines et symétriques. Au contraire, les illites se caractériseraient par un élargissement des raies dont l'intensité serait par ailleurs assez faible Dans la pratique cette distinction s'avère difficile.

Toutes les illites et muscovites que nous avons rencontrées semblent être du type dioctaédrique pour autant que l'on puisse en juger dans le cas des mélanges. On sait en effet que pour les micas dioctaédriques (MAUREL, 1962), on observe les raies suivantes :

d (02,11)	:	4,53 Å
d (20,13)	:	2,60 Å
d (0,60)	:	1,53 Å

L'observation de diagrammes de poudre nous a permis de constater que ces conditions étaient réalisées. Cependant, ces raies interfèrent souvent avec celles d'autres minéraux et cette vérification ne peut pas être considérée comme absolue.

b)– Particularités de certains micas :

– Définition : BROWN (1955) a calculé que la substitution de l'aluminium des couches d'octaèdres par du fer provoquait sur les diffractogrammes de micas dioctaédriques une diminution de l'intensité de la raie 0 0 2 (5 Å) et une augmentation de la raie 0 0 1 (10 Å).

Pour certains auteurs (WHITE, BRONSON et BAILEY, 1961) les fluctuations du rapport A = I(001) / I(002) seraient attribuables à des variations du degré d'altération des micas. Expérimentalement ces auteurs ont en effet montré que la valeur de A était directement liée à la teneur des micas en potassium. Plus récemment (1965), des conclusions identiques ont été énoncées par WEAVER.

Ces observations intéressantes nous ont conduit à utiliser ce rapport comme indice de l'état de dégradation des illites. En collaboration (KLINGEBIEL et LATOUCHE, 1962), nous avons montré que, dans une série sédimentaire, A variait d'une façon parallèle à l'évolution séquentielle du milieu et que les illites à A élevé se rencontraient dans les faciès à déséquilibre ionique avancé.

Dans le cas des sols, nous nous sommes parfois servi de la valeur de ce rapport pour chiffrer le degré d'altération pédologique des minéraux micacés. L'utilisation de ce rapport est cependant limitée. Deux conditions doivent en effet être satisfaites :

- Présence d'illite en assez grande abondance.
- Absence ou rareté de minéraux étrangers pouvant perturber l'intensité des raies 0 0 2 des micas (montmorillonite en particulier).

– Evolution du rapport A :

- Avec la granulométrie : Dans tous les cas où nous l'avons contrôlée, la valeur de A est une fonction inverse de la taille des particules (fig. 11). Cette observation conduit aux conclusions suivantes :

– nécessité d'un choix granulométrique rigoureusement constant ;
– argumentation en faveur de l'hypothèse de A lié au degré d'altération des micas : les particules les plus petites sont en effet les plus susceptibles d'être dégradées.

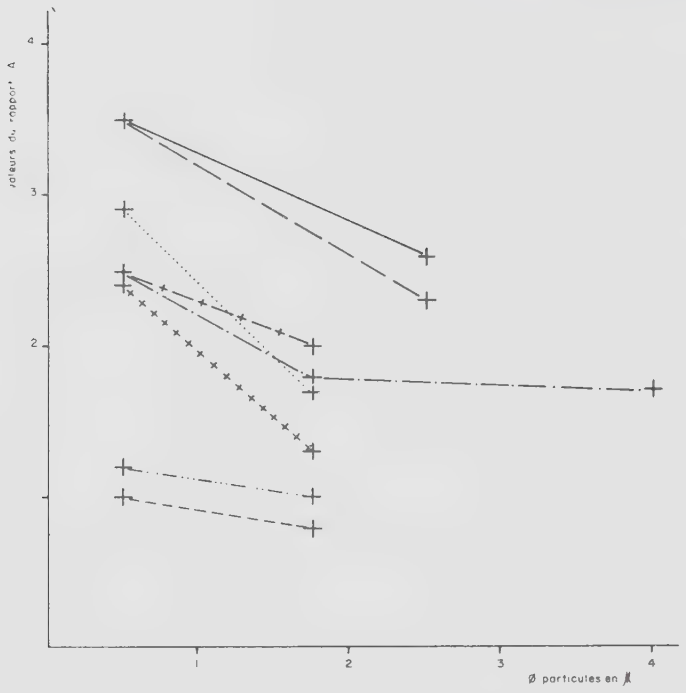


Fig. 11 . ÉVOLUTION DU RAPPORT "A" EN FONCTION DE LA TAILLE DES PARTICULES DANS DIVERSES ARGILES DU SOL.

• Dans les horizons d'un sol : d'une façon générale, la valeur de A augmente vers les horizons supérieurs des profils. Dans quelques cas, cependant, les valeurs les plus élevées peuvent se rencontrer dans les horizons intermédiaires. Ces fluctuations semblent alors liées soit à la présence d'une nappe, soit à un lessivage oblique du sol.

2° - Thermogravimétrie

A basse température les pertes d'eau sont très réduites pour les muscovites. Pour les illites au contraire on note des départs d'eau intercalaire d'autant plus importants que les minéraux sont plus altérés (1 à 7 %).

L'eau de constitution s'échappe progressivement dans le cas des illites entre 300 et 650° C et représente 4 à 5 % du poids de la prise d'essai. Pour le cas de la muscovite au contraire, l'intervalle de déshydratation est plus réduit (400 à 700° C) et un palier se dessine entre 200 et 400° C.

Dans le cas de mélanges de divers minéraux argileux, l'analyse thermogravimétrique ne permet pas une mise en évidence très nette des micas. Ceux-ci présentent en effet des pertes d'eau trop progressives pour être caractéristiques.

3° - Microscopie électronique

D'une façon générale les cristaux d'illite ont une forme arrondie et des contours assez nets.

Dans les sols, les illites que nous avons pu observer ne présentent pas de faciès caractéristique et leur identification s'avère souvent hasardeuse.

4° - Conclusions

L'étude des minéraux argileux micacés par diffractométrie X est donc particulièrement fructueuse. Cette méthode nous a permis de réaliser une différentiation assez fine des divers membres de ce groupe et nous a apporté d'utiles renseignements sur l'état de cristallinité de ces minéraux.

Par contre la thermogravimétrie et la microscopie électronique ne nous ont pas fourni de critères d'identification absolument sûrs.

III. - GROUPE DES MONTMORILLONITES

1° - Diffractométrie

En lame orientée, les minéraux de ce groupe se caractérisent par un petit nombre de raies assez élargies :

- **Dans le cas le plus général,** on observe la série 0 0 1 suivante (fig. 12) :

Echantillon normal		Echantillon glycolé	
15,3 Å	forte	17 Å	forte

Fig 12 DIFFRACTOGRAMMES DE LA PHASE ARGILEUSE DES MARNES LUTÉTIENNES_ ILLBARITZ (B.P.)

7,5 Å	très faible	8,5 Å	très faible
5,03 Å	moyenne	5,66 Å	faible
3,03 Å	très faible	4,25 Å	très faible
		3,4 Å	faible

Au cours du traitement à la chaleur, le départ de l'eau intercalaire conduit à une structure [illegible] mica caractérisée par les raies suivantes :

[illegible]	:	10 Å
[illegible]	:	5 Å
0 0 3	:	3.33 Å

Cette transformation est incomplète à 300° C. A 550° C, par contre, la totalité des feuillets passe à 10 Å bien que la déshydratation ne soit totale qu'aux environs de 700° C (GRIM. 1953).

– Parmi les argiles que nous avons examinées, nous avons assez fréquemment rencontré des montmorillonites de type sodique, d'équidistance basale égale à 12,5 Å (chap. II – I A) (fig. 1[illegible]). Au cours du traitement au glycol, ces montmorillonites présentent une capacité de gonflement légèrement supérieure à celle des montmorillonites 15 Å et pouvant atteindre 18,5 Å. De plus, les [illegible] obtenus dans ces conditions sont généralement plus aigus et plus symétriques que ceux des montmorillonites calciques. Signalons enfin que, par saturation en calcium selon le procédé décrit par KLINGEBIEL en 1964, ces feuillets de type 12 Å passent au type 15 Å.

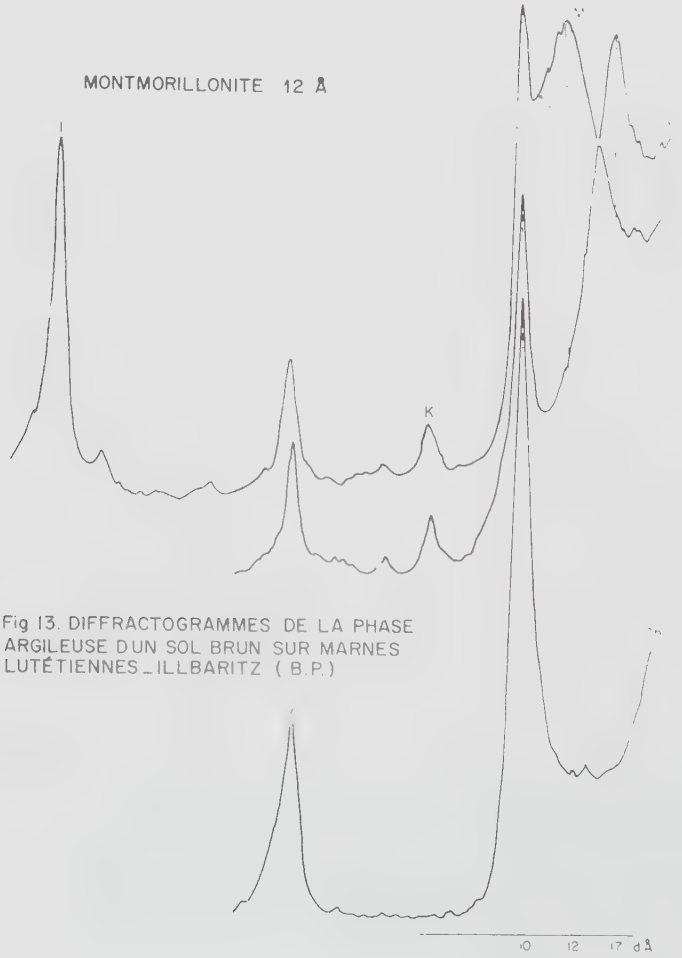


Fig 13. DIFFRACTOGRAMMES DE LA PHASE ARGILEUSE D'UN SOL BRUN SUR MARNES LUTÉTIENNES – ILLBARITZ (B.P.)

– Dans les argiles des sols, une troisième variété de montmorillonite s'individualise fréquemment par des distances réticulaires élémentaires supérieures à 15 Å. Cet élargissement naturel du réseau semble résulter d'une dégradation plus ou moins avancée de l'édifice cristallin qui présente alors un surcroît d'hydratation.

2° – Thermogravimétrie

L'analyse thermogravimétrique individualise deux types de montmorillonites :

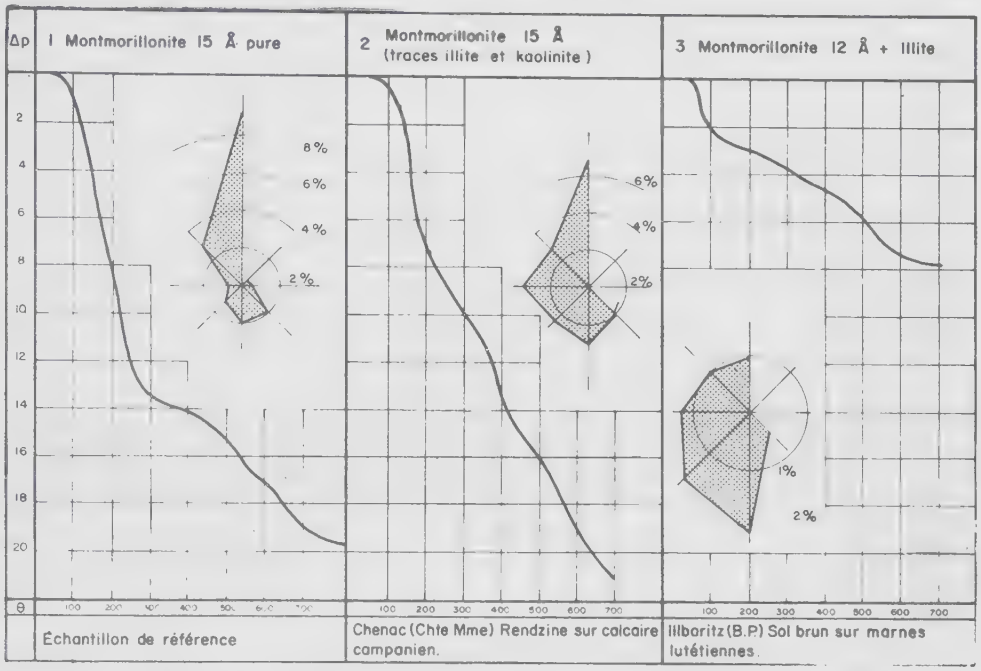


Fig. 14. ANALYSES THERMOPONDÉRALES DE QUELQUES MONTMORILLONITES

a)– Montmorillonite normale à 15 Å : (fig. 14a et b).

Les courbes de déshydratation montrent des pertes de poids considérables à basse température (100 à 300° C) correspondant au départ de l'eau interfoliaire. Ces pertes représentent 10 à 14 % du poids de l'échantillon et 50 à 70 % de la perte totale susceptible de se produire par chauffage à 900° C.

Les courbes ont généralement une forme en S avec, dans les cas favorables, un point d'inflexion aux environs de 300° C, température au-dessus de laquelle on observe une perte d'environ 6 % correspondant au départ de l'eau de constitution. La déshydratation est totale vers 800° C.

Très souvent, comme le remarque GRIM (1953), la rupture "eau intercalaire – eau de constitution" se marque très mal sur les courbes. Ce phénomène est particulièrement courant dans les argiles des sols (fig. 14b).

b)– Montmorillonite à 12 Å : (fig. 14c)

Les pertes d'eau interfoliaire sont ici considérablement plus réduites et ne représentent plus que 35 à 40 % de la perte d'eau totale. Cette déshydratation, d'autre part, semble survenir à des températures légèrement inférieures à celles des montmorillonites 15 Å.

Le départ de l'eau de constitution s'effectue dans un intervalle de températures compris entre 300 et 700° C selon des modalités très voisines de celles observées pour les montmorillonites normales.

3° – Microscopie électronique

Les montmorillonites des sols que nous avons examinés n'ont jamais révélé de faciès très caractéristique. Nous ne présenterons donc pas de cliché de ce minéral.

4° – Conclusions

La diffractométrie X a fourni l'essentiel des renseignements concernant les minéraux du groupe des montmorillonites. L'analyse thermopondérale apporte cependant un complément d'information Une étude au microscope électronique ne pourrait être rentable qu'après un inventaire détaillé des divers types de montmorillonites.

IV. – GROUPE DE LA VERMICULITE

1° – Diffractométrie

LUCAS, CAMEZ et MILLOT (1959) donnent pour le minéral argileux vermiculite les équidistances suivantes :

14 Å 3,55 Å

Les sédiments dans lesquels nous avons rencontré de la vermiculite contenant toujours des quantités plus ou moins importantes de kaolinites, il ne nous a pas été possible d'observer de pic aux environs de 3,50 A. Dans ce travail. l'identification des vermiculites a été effectuée d'après les deux raies suivantes

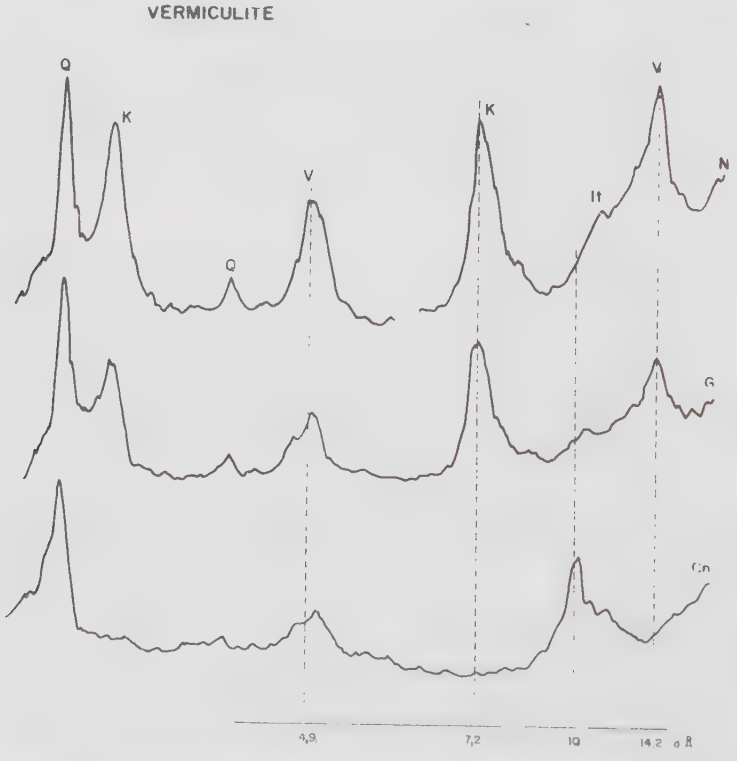


Fig. 15. DIFFRACTOGRAMMES DE LA PHASE ARGILEUSE D'UN SOL PODZOLIQUE SUR TERRASSE ANCIENNE – BEAUTIRAN (Gde).

14,2 Å (forte) 4,9 Å (moyenne)

La raie à 4,9 Å, très large et souvent dissymétrique vers les grands angles, semble très caractéristique des minéraux de ce groupe (fig. 15).

Dans le cas général, la raie à 14 Å est stable au glycol. Après chauffage à 550° C par contre, elle est remplacée par une raie à 10 Å caractéristique des réseaux micacés.

Signalons enfin que, parmi les vermiculites que nous avons rencontrées, certaines présentaient un gonflement après glycolation. Cette propriété a été fréquemment citée dans la littérature depuis les premières observations de Mac EWAN (1944) à ce sujet. La saturation préalable en $MgCl_2$ (RIVIERE et Coll., 1955) bloque l'équidistance basale de ces minéraux à 14 Å et nous a généralement permis de les distinguer des montmorillonites.

2° – Thermogravimétrie

Nous n'avons jamais rencontré de sols présentant une phase argileuse exclusivement vermiculitique. Dans ces conditions les renseignements que l'on peut tirer de l'analyse thermogravimétrique sont assez limités.

Cependant, tous les sédiments contenant une forte proportion de vermiculite subissent des pertes d'eau très importantes de 100 à 450° C. Les courbes obtenues (fig. 16) ne présentent aucun accident

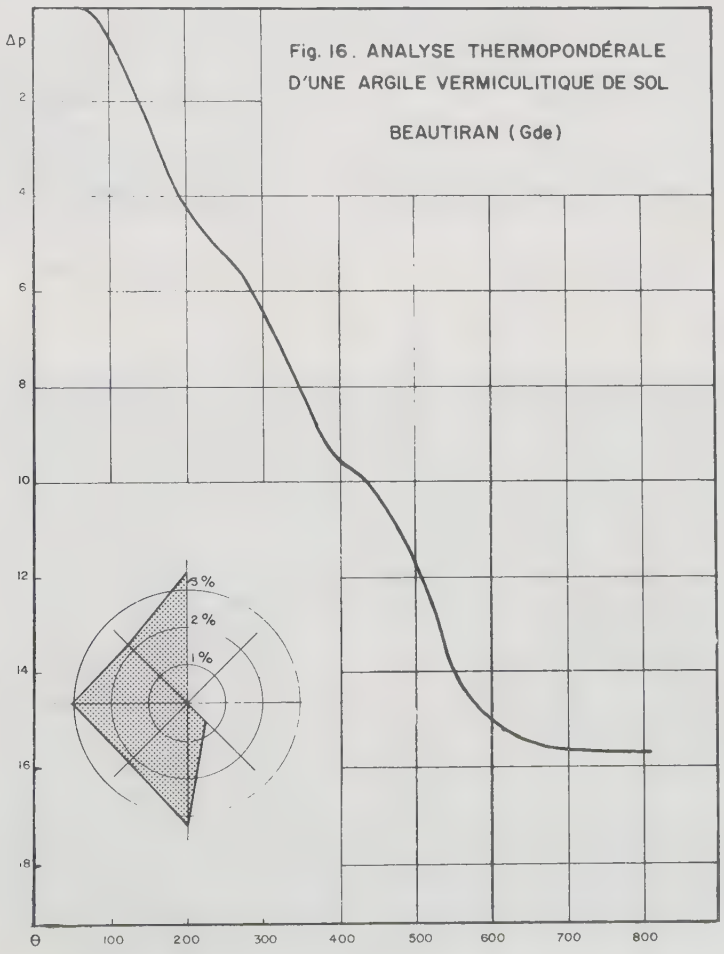


Fig. 16. ANALYSE THERMOPONDÉRALE D'UNE ARGILE VERMICULITIQUE DE SOL BEAUTIRAN (Gde)

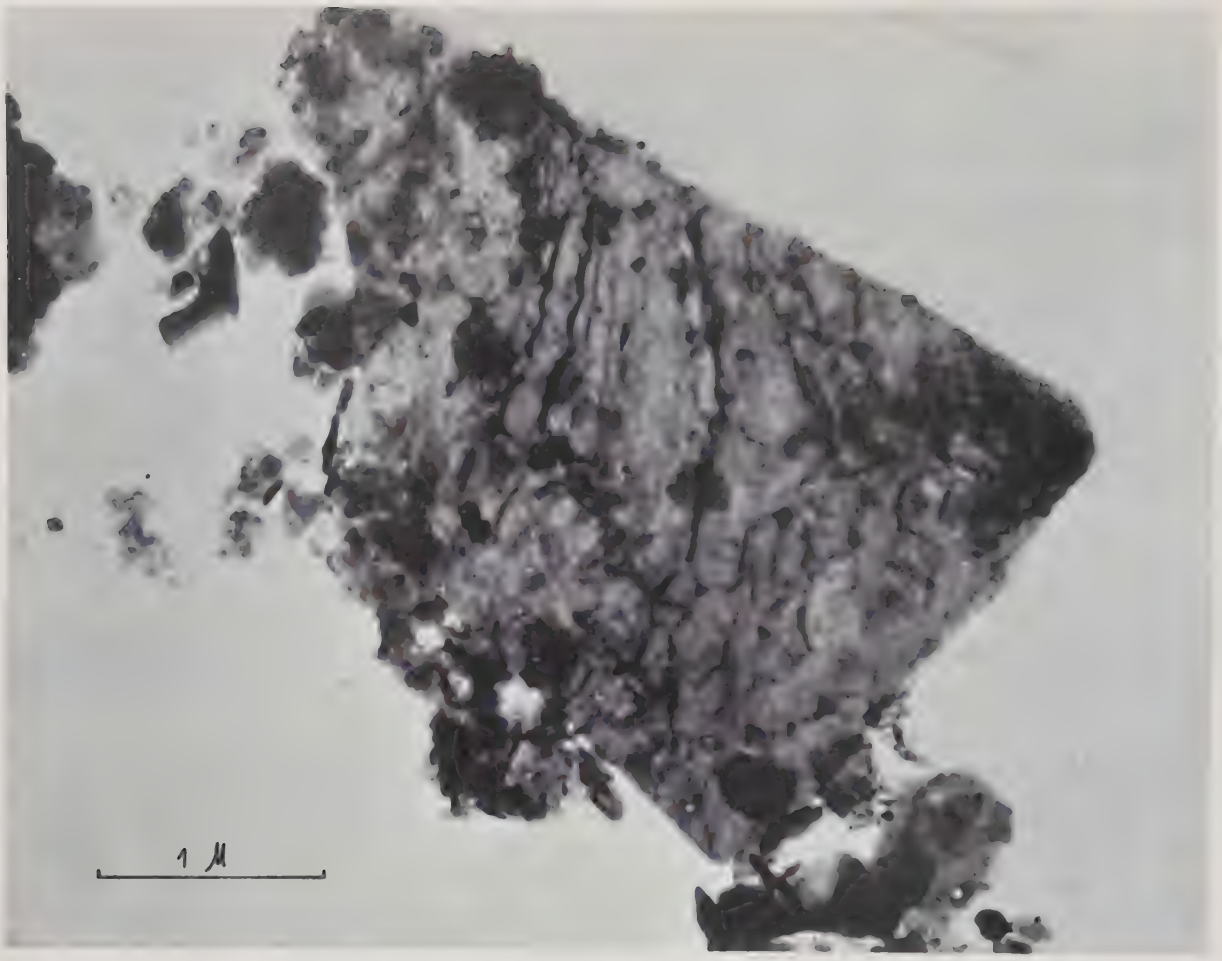


Fig 17 Photographie au microscope électronique d'un cristal d'une phase argileuse à vermiculite - Sol sur terrasse ancienne. BEAUTIRAN (Gironde).

Fig. 18 . Diagramme de microdiffraction électronique du cristal de la figure 17 .

caractéristique et la déshydratation se fait de manière très progressive. Ces faits apparaissent avec une particulière netteté sur les diagrammes circulaires.

Par l'analyse thermopondérale il ne semble donc pas possible de discerner la vermiculite des autres minéraux argileux de type ouvert hydraté.

3° - Microscopie électronique

Les clichés et les renseignements relatifs à ce minéral sont assez rares dans la littérature.

La figure 17 représente un minéral que nous pensons être une vermiculite. Le cristal a été extrait d'une phase argileuse à vermiculite et kaolinite, dont le diagramme de diffraction a été présenté à la figure 15.

Le faciès général du cristal évoque celui de la chlorite : forme anguleuse, contours bien délimités, quelques angles rentrants en particulier. Comme pour la chlorite, on observe également quelques franges de moirés mais on constate en outre l'existence de nombreuses stries en festons, obliques par rapport au cristal et légèrement convergentes. Il n'est pas possible d'affirmer que ces stries sont localisées à la surface du cristal ou dans sa masse. Quoi qu'il en soit leur présence donne à ces cristaux un faciès particulier.

Signalons enfin que ces minéraux fournissent, comme la chlorite, d'excellents diagrammes de microdiffraction électronique (fig. 18). Ce fait constitue l'un des critères nous ayant fait attribuer ces cristaux à la vermiculite. En effet, les kaolinites mal cristallisées, qui seules accompagnent ces minéraux dans la phase argileuse, ne donnent jamais de diagrammes de diffraction nets.

4° - Conclusions

La mise en évidence des vermiculites typiques par diffraction X est relativement aisée. Dans le cas de mélanges ou de vermiculites plus ou moins désaturées en magnésium, l'identification s'avère plus délicate.

La contribution de l'analyse thermopondérale dans le cadre de ce travail est restreinte. Par contre, la microscopie électronique paraît susceptible de fournir des renseignements intéressants. Il conviendrait cependant de confirmer par un grand nombre de clichés les particularités mises en évidence pour certains cristaux.

V. - GROUPE DE LA CHLORITE

Parmi les phases argileuses des sols que nous avons examinés nous n'avons rencontré qu'assez rarement de chlorites vraies. Par contre, les chlorites altérées ou interstratifiées sont fréquentes dans les sols aquitains. Les caractères généraux de ces dernières seront examinés dans le paragraphe consacré aux interstratifiés. Nous n'exposerons ici que les propriétés des chlorites vraies.

1° - Diffractométrie

Aux rayons X les chlorites se caractérisent par la série de raies fines et symétriques suivantes (fig. 19) :

0 0 1	14,2 Å	(moyenne à forte)
0 0 2	7,1 Å	(très forte)
0 0 3	4,73 Å	(moyenne à forte)
0 0 4	3,545 Å	(très forte)

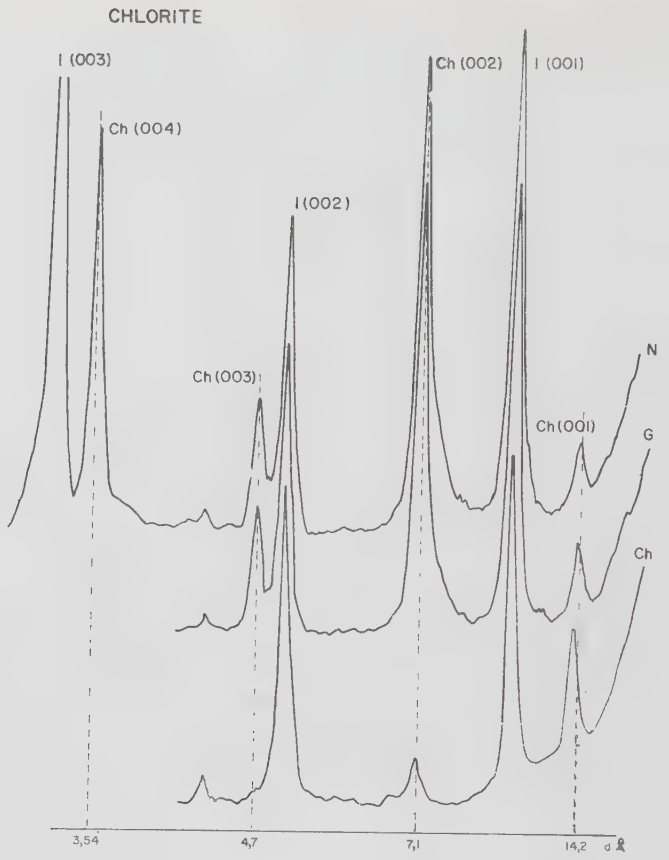


Fig. 19. DIFFRACTOGRAMMES D'UNE PHASE ARGILEUSE A CHLORITE
SCHISTES ALTÉRÉS DE LA VALLÉE DE LAUVÉZÈRE

Ces équidistances ne sont pas changées par le glycol. Après chauffage à 550° C, au contraire, on constate des modifications importantes du réseau. D'une façon générale on observe une disparition des raies d'ordre pair (LUCAS, 1962).

Les réactions que nous avons observées sont légèrement différentes. La raie 0 0 1 est effectivement très peu affectée : elle passe simplement de 14,2 à 14 Å et son intensité est légèrement renforcée. La raie 0 0 2 par contre ne disparaît pas totalement. Quant à la raie 0 0 3 elle est totalement détruite. Ce comportement est assez semblable à celui décrit par GRIM (1953, p. 240).

Remarques :

1. – Etant donné la rareté et la faible abondance des chlorites que nous avons rencontrées, nous n'avons pas effectué de différentiation chimique des minéraux de ce groupe – et en particulier des chlorites ferrifères et magnésiennes – d'après les rapports d'intensité de raies selon la méthode préconisée par ALEXANIAN, ROUGE et VATAN (1954).

2. – Dans le cas de mélanges chlorite-kaolinite, l'individualisation des deux minéraux est particulièrement difficile. Ce cas semble s'être heureusement présenté assez rarement dans les sols étudiés. Plusieurs méthodes ont été proposées pour permettre la différentiation (BRADLEY, 1954 ; RIVIERE et Coll., 1955 ; LUCAS et JEHL, 1961). Leur efficacité varie suivant la nature des chlorites en mélange. Dans ce travail nous nous sommes borné à séparer ces minéraux d'après les légères différences angulaires de leurs raies aux environs de 3,5 Å (kaolinite : 3,57 Å ; chlorite : 3,54 Å). Cette méthode n'est cependant pas applicable dans tous les cas.

Fig. 20. Photographie au microscope électronique d'un cristal de chlorite. Échantillon de référence.

2° - Thermogravimétrie

Pour les chlorites vraies, les courbes obtenues sont assez voisines de celles de la kaolinite. Les seules pertes de poids notables correspondent en effet dans les deux cas à des départs d'eau de constitution survenant à des températures relativement élevées. Dans le cas de la chlorite cependant, cette déshydratation se produit vers 570° C c'est-à-dire à des températures supérieures de 50° C à celles de la kaolinite. En outre, on observe pour les chlorites une nouvelle perte de poids aux environs de 800° C. Elle correspondrait d'après GRIM (1953) au départ des OH des feuillets de micas.

3° - Microscopie électronique

Nous n'avons jamais eu recours à cette technique pour l'identification des chlorites de sols. Cependant nous avons été amené à examiner diverses chlorites de référence en comparaison avec des vermiculites. Nous avons constaté que les chlorites présentent au microscope électronique un faciès très particulier. La forme des cristaux est généralement anguleuse et les contours sont nets. Les angles rentrants sont fréquents. Tous les cristaux que nous avons examinés présentaient en outre des figures de moirés qui paraissent très caractéristiques des minéraux de ce groupe (fig. 20). Ces moirés pourraient représenter des franges d'interférence dues à des liaisons imparfaites entre les couches de micas et de brucite.

Signalons enfin que toutes les chlorites que nous avons examinées donnaient d'excellents diagrammes de diffraction électronique.

4° - Conclusions

Les chlorites vraies présentent donc un ensemble de particularités rendant leur identification relativement facile. Par contre les divers minéraux dérivant de la chlorite offrent des propriétés beaucoup moins tranchées. Nous nous sommes donc attaché à définir ici en détail les chlorites typiques (bien qu'elles n'occupent qu'une place très restreinte dans cette étude) afin de mieux saisir par la suite les modalités d'altération de ce minéral.

VI. - GROUPE DES MINERAUX FIBREUX

Parmi les minéraux de ce groupe, seule l'attapulgite a été rencontrée dans les argiles des sols que nous avons étudiés. Nous examinerons ici les caractéristiques de ce minéral reconnu dans un sol sur calcaire lacustre à BLAYE (Gironde) (fig. 21).

1° - Diffractométrie

GRIM (1953), citant BRADLEY donne pour l'attapulgite la série de raies suivantes :

110	10,50 Å	forte	240	3,69 Å	moyenne
200	6,45 Å	moyenne	330 }	3,50 Å	faible
130	5,44 Å	moyenne	150 }		
040	4,49 Å	moyenne	400	3,23 Å	forte
310	4,18 Å	faible			

L'attapulgite que nous avons rencontrée se présentait toujours en mélange avec de fortes proportions d'illite. Dans ce cas, la mise en évidence de l'attapulgite s'avère malaisée. Parmi les raies citées par GRIM seules quelques-unes demeurent visibles. Ce sont : (fig. 21a)

- la raie à 10,5 Å relativement intense mais "plaquée" sur la raie à 10 Å de l'illite.
- les raies à 6,4 Å et 3,2 Å très faibles et difficilement discernables.

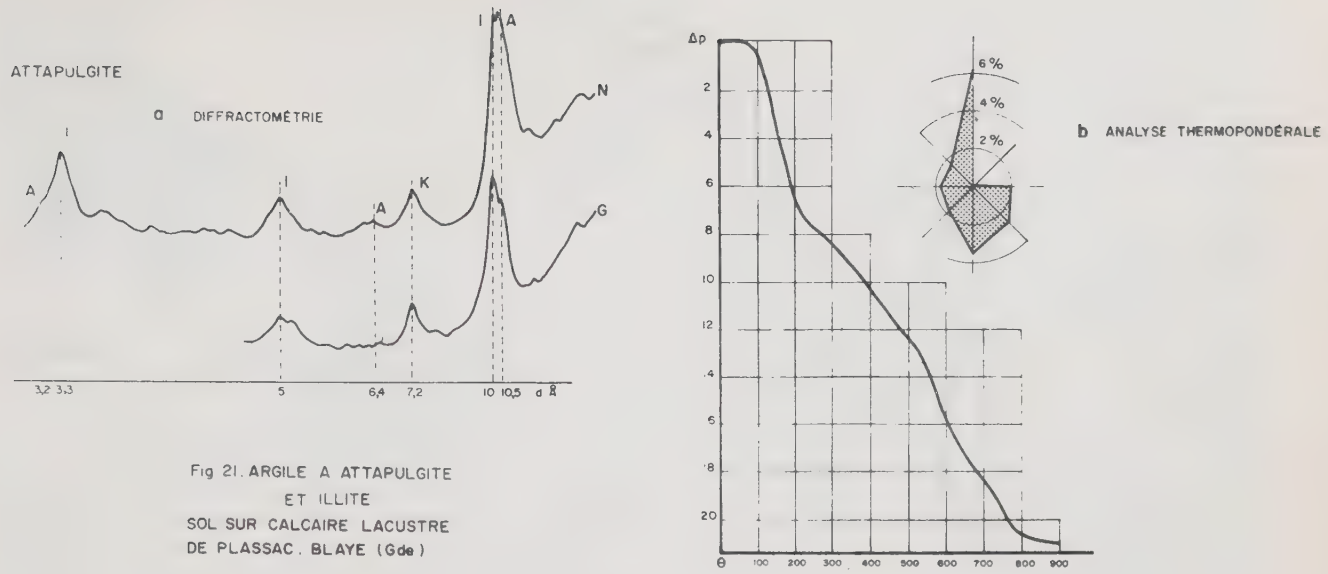


Fig 21. ARGILE A ATTAPULGITE
ET ILLITE
SOL SUR CALCAIRE LACUSTRE
DE PLASSAC. BLAYE (Gde)

Le glycol ne modifie pas ces équidistances mais, après une heure de chauffage à 550° C, le pic de 10,5 Å "s'affaisse" à 10 Å et vient renforcer l'intensité de celui de l'illite avec lequel il se confond.

2° – Thermogravimétrie

L'interprétation des courbes de déshydratation du mélange illite-attapulgite (fig. 21b) présente quelques difficultés. L'importance des pertes à faible température est attribuable à un minéral à eau interfoliaire. En présence d'illite, l'identification de ce minéral s'avère délicate. Cependant, l'existence d'illite même très hydratée ne suffit pas à expliquer les pertes d'eau très importantes en dessous de 500° C (12 % environ).

Si la présence d'attapulgite ne peut être affirmée au seul vu de la courbe de déshydratation, celle-ci fournit donc cependant un argument supplémentaire en faveur de cette hypothèse.

3° – Microscopie électronique

Dans l'exemple présenté ici, cette technique nous a fourni la preuve de l'existence d'attapulgite. Les clichés obtenus (fig. 22) montrent en effet, à côté des cristaux arrondis et sombres de l'illite, de nombreuses fibres très caractéristiques de l'attapulgite. On peut y observer en outre une multitude de microcristaux accompagnant, d'une façon générale, toutes les attapulgites de référence examinées par ailleurs au microscope électronique.

4° – Conclusions

De faibles quantités d'attapulgite en mélange avec divers autres minéraux argileux, parmi lesquels l'illite est fréquente, sont souvent difficilement repérables sur les diagrammes de diffraction X. La thermogravimétrie ne peut fournir que des présomptions supplémentaires à ce sujet. La microscopie électronique par contre, fournit des preuves indubitables de la présence de ce minéral

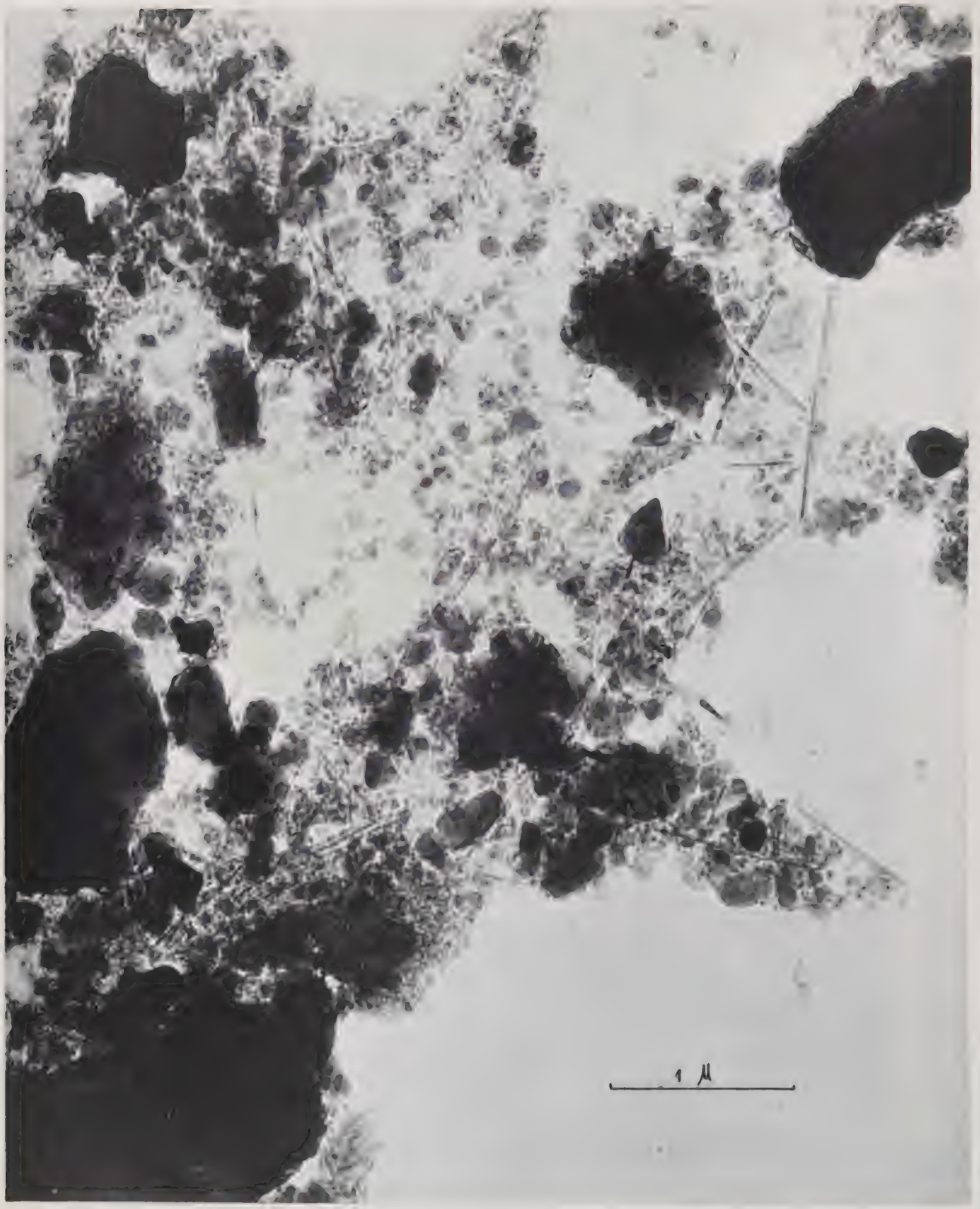


Fig 22 . Photographie au microscope électronique d'une phase argileuse à attapulgite. Sol sur calcaire lacustre de Plassac . BLAYE (Gironde).

B. – EDIFICES INTERSTRATIFIES

Seule l'analyse par diffractométrie X permet une identification des structures interstratifiées. En effet, dans l'état actuel des techniques, la thermogravimétrie et la microscopie électronique ne sont pas utilisables pour l'étude de ces problèmes.

I. – CARACTERES GENERAUX DES DIFFRACTOGRAMMES D'EDIFICES INTERSTRATIFIES

Bien que ces édifices résultent de l'empilement de feuillets de deux types (chap. II, I par. 2 C), les réponses obtenues ne sont pas celles d'un simple mélange. Les raies des constituants élémentaires n'apparaissent plus et sont remplacées par de nouvelles réflexions présentant des caractères bien différents, propres au nouvel édifice ainsi constitué. Dans ce domaine, deux cas sont à considérer :

1° – "Interstratifiés" réguliers

Ce sont de vrais minéraux dont la période élémentaire le long de l'axe c est égale à la somme des périodes des deux minéraux constitutifs.

Leurs diffractogrammes sont donc caractérisés par des séquences régulières de raies de la série 001, dont la première (001) correspond à une distance réticulaire d donnée par la formule :

$$d_{AB}\ (001) = d_A\ (001) + d_B\ (001)$$

où d_A et d_B sont les distances réticulaires élémentaires des deux constituants de l'interstratifié AB.

L'identification de ces minéraux ne pose donc pas beaucoup plus de problèmes que celle des minéraux simples. Ces édifices décrits par LUCAS (1962) n'ont pas été rencontrés dans les sols que nous avons examinés.

2° – "Interstratifiés" irréguliers

a)– Position des réflexions :

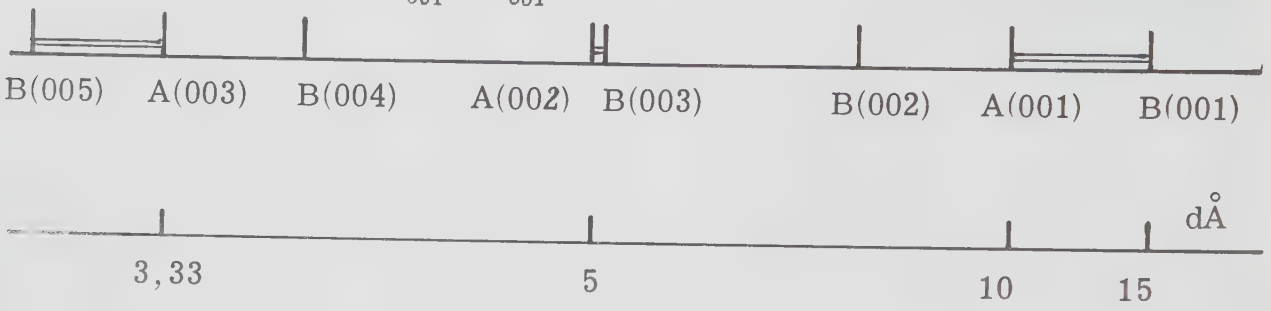
Ces édifices résultent de l'empilement désordonné de feuillets différents. Leur réseau ne présente donc pas de périodicité le long de l'axe c. Dans ces conditions leurs diffractogrammes ne fournissent pas de séquences régulières de raies (KUBLER, 1961).

Les réflexions qui apparaissent résultent alors de "l'interférence" (MILLOT, 1964, p. 32) des raies voisines des feuillets constitutifs. Seules les raies isolées de ces derniers demeurent parfois individualisées. Pour une interstratification donnée de deux types de feuillets, les positions des nouveaux réflexes peuvent être prévues en construisant, à l'exemple de KUBLER (1961), un diagramme théorique basé sur les résultats de MERING (1949) ; si l'on porte successivement sur un axe les vecteurs correspondant aux distances réticulaires des raies de la série 001 des deux minéraux composants A et B :

$$d_A,\ \frac{d_A}{2},\ \frac{d_A}{3},\ \text{etc.}\quad d_B,\ \frac{d_B}{2},\ \frac{d_B}{3},\ \text{etc.}$$

telles qu'elles se traduisent sur les diffractogrammes, il est facile de prévoir les régions où une réflexion complexe remplacera les deux raies primitives. Les "interférences" se produiront évidemment dans les zones où deux raies initiales seront voisines (cf. schéma ci-dessous). Par contre les raies isolées demeureront inchangées : B (002) par exemple.

Dans la pratique, on constate que les seules raies bien visibles sont toujours d'ordre peu élevé. Souvent même, dans le cas très fréquent "d'interstratifié" très irrégulier, la seule raie visible correspond à "l'interférence" de A_{001} et B_{001}.



Dans l'intervalle des positions limites ainsi définies, la position exacte de la réflexion résultante sera déterminée par le "taux d'interstratification" (KUBLER, 1961) du minéral B dans le minéral A (voir chap. II, I par. 2 C). Elle passe (voir figure ci-dessus) de A (001) à B (001) lorsque ce taux passe de 0 à 100 %. La variation n'est cependant pas linéaire (MAC EWAN et Coll., 1961).

b)– Forme des réflexions :

La forme des réflexions dépend de nombreux facteurs. Parmi ceux-ci les plus importants sont :

– La répartition du taux d'interstratification dans l'ensemble de la population des cristallites.

Si tous les cristallites présentent des taux d'interstratification identiques ou peu différents, la réflexion résultante pourra être une raie fine par "effet de pointe".

Dans la plupart des cas, les divers cristallites présentent des taux d'interstratification variés. La distribution de ces derniers dans une population donnée commande alors la forme de la réflexion observée. Celle-ci reproduira fidèlement la courbe de distribution des cristallites (fig. 4).

La raie par effet de pointe n'apparaît plus alors que comme un cas particulier et, dans la majorité des cas, les réflexions seront réduites à des "plateaux" (fig. 4b) ou à des épaulements (fig. 4d).

Dans ces conditions, il n'est pas possible d'assigner à ces réponses des distances réticulaires données : seules peuvent être définies les positions limites d'une réflexion donnée.

– L'écartement des deux raies composantes :

La réflexion résultante sera d'autant plus fine que les deux raies initiales seront évidemment plus rapprochées. Cette distance doit toutefois rester assez faible puisque les raies trop isolées restent inchangées.

– L'intensité relative de ces deux raies élémentaires :

La forme de la réflexion sera évidemment différente suivant que les deux raies composantes auront des intensités relatives comparables ou très différentes.

II. – IDENTIFICATION DES EDIFICES INTERSTRATIFIES

Elle a été effectuée d'après le comportement de ces minéraux aux trois traitements habituels (N, G, Ch), en utilisant une méthode assez voisine de celle proposée par LUCAS, CAMEZ et MILLOT en 1959.

Si l'on considère le devenir des minéraux argileux simples au cours de ces trois traitements, on peut dresser le tableau récapitulatif suivant :

TABLEAU 1

	Normal	Glycol	550° C
Illite	10 Å	———	———
Chlorite	14 Å	———	———
Montmorillonite	15 Å	↘ 17 Å	↗ 10 Å
Vermiculite	14 Å	———	↗ 10 Å

A partir de ce tableau on peut, en combinant les propriétés de chacun des deux minéraux simples entrant dans leur composition, classer les six interstratifiés préalablement définis en trois groupes :

– Groupe 1 : "descendent" (1) au glycol et "montent" (1) à la chaleur : ce sont ceux contenant de la montmorillonite : illite-montmorillonite, montmorillonite-chlorite et montmorillonite-vermiculite.

TABLEAU 2

GROUPE	INTERSTRATIFIE	NORMAL	GLYCOL	CHALEUR
1	I M	Raie fréquemment large entre 15 et 10 Å	Raie fréquemment large entre 16 et 10 Å	Raie fine entre 10 et 9,5 Å
	M C	Raie fine entre 14 et 15 Å	Raie entre 14 et 16 Å env.	Raie large entre 14 et 9,5 Å
	M V	Raie fine entre 14 et 15 Å	Raie entre 14 et 16 Å env.	Raie fine entre 10 et 9,5 Å
2	I V	Raie large entre 14 et 10 Å	Raie large entre 14 et 10 Å	Raie fine à 10 Å
	C V	Raie fine à 14 Å	Raie fine à 14 Å	Raie entre 10 et 14 Å
3	I C	Raie entre 10 et 14 Å	Raie entre 10 et 14 Å	Raie entre 10 et 14 Å

(1) "descendent" : déplacement de la raie vers les grands angles donc augmentation de la distance réticulaire et inversement pour "montent".

– Groupe 2 : Insensibles au glycol mais "montant" à la chaleur : ce sont ceux contenant de la vermiculite mais pas de montmorillonite : illite-vermiculite et chlorite-vermiculite.

– Groupe 3 : Insensibles au glycol et à la chaleur : ce sont des édifices constitués des deux minéraux insensibles à ces traitements. Il n'en existe qu'un seul type : illite-chlorite.

III. – ETUDE DE QUELQUES EXEMPLES D'EDIFICES INTERSTRATIFIES

Seuls seront présentés ici les types d'interstratification effectivement rencontrés :

1° – "Interstratifié" illite-montmorillonite 15 Å : (fig. 23)

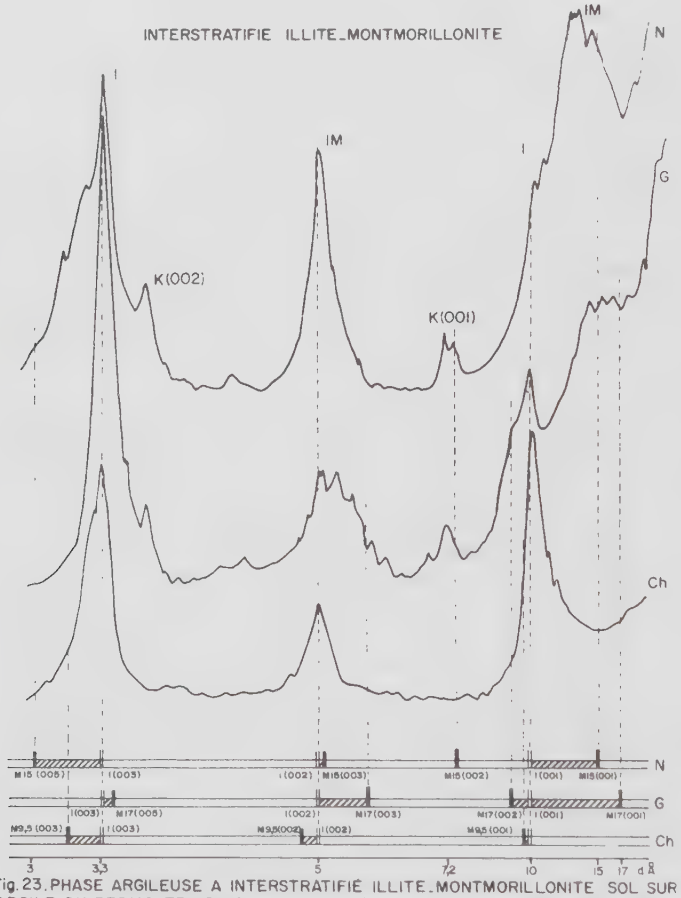


Fig. 23. PHASE ARGILEUSE A INTERSTRATIFIE ILLITE_MONTMORILLONITE SOL SUR ARGILE DU PERMO_TRIAS_ PAZAYAC (Dne).
Diffractogrammes et zones théoriques d'apparition de reflexes mixtes illite_montmorillonite pour chacune des trois préparations (N, G, Ch)

Raies propres à l'illite | Raie propres à la montmorillonite | Zones d'interférence

Cet interstratifié est le constituant dominant de la phase argileuse d'un sol brun sur argile du Permo Trias de la Commune de PAZAYAC (Dordogne). De faibles quantités de montmorillonite et d'illite lui sont associées. Elles se traduisent par les raies à 10 et à 15 Å sur les diagrammes N et à 10 et 17 Å sur les diagrammes G.

L'interstratifié lui-même est caractérisé par la série de raies suivantes :

Fig. 24 . Photographie au microscope électronique d'une phase argileuse à interstratifié I.M.. Sol sur Permo_Trias. PAZAYAC (Dordogne).

Normal	Glycol	Chaleur
13 Å TF (raie large et mal définie)	13,8 à 17 Å F (plateau "plaqué" sur le fond continu)	10 Å TF (raie fine)
	8,5 Å f (épaulement sur I_{002})	
5,05 Å F (raie fine)	5 à 5,5 Å AF (plateau)	5 Å AF
3,33 à 3,03 Å f (épaulement sur I_{003})	3,3 Å F	3,33 à 3,16 Å TF (raie dissymétrique)

Ce comportement est caractéristique d'un minéral du groupe 1 défini dans le tableau 1. La largeur de la raie du diagramme N, ainsi que son équidistance (13 Å), permettent d'identifier ce minéral à un interstratifié irrégulier illite-montmorillonite.

Au bas de la figure 23 des diagrammes théoriques ont été tracés en fonction de cette hypothèse. On voit qu'au cours des trois traitements ces diagrammes coïncident parfaitement avec les faits observables sur les diffractogrammes.

Remarque :

L'étude au microscope électronique de cette phase argileuse ne révèle l'existence d'aucun cristal caractéristique. Les clichés (fig. 24) permettent simplement d'observer, à côté de cristaux sombres et anguleux d'illite, la présence de masses sans contours définis, fines et de petite taille.

2° - "Interstratifié" illite-vermiculite

Associé à de faibles quantités de kaolinite et à des traces de chlorite, cet interstratifié est le constituant dominant de la phase argileuse d'un sol sur granite prélevé au Col de la Lhoze (Pyrénées-Orientales).

Les diagrammes réalisés présentent les raies suivantes : (fig. 25)

Normal	Glycol	Chaleur
11 Å TF (très élargie)	Aucun	10 Å TF
4,9 Å tf (large)	changement	5 Å (à peine visible)
3,42 Å TF	notable.	3,33 Å TF (fine et symétrique)

Ces réactions sont celles d'un minéral du groupe 2. L'équidistance de 11 Å distingue nettement dans ce groupe ce minéral de la chlorite-vermiculite et permet donc de l'attribuer à l'illite-vermiculite ce que confirment les diagrammes théoriques donnés au bas de la figure 25.

3° - "Interstratifié" chlorite-vermiculite

Associé à une importante proportion de kaolinite, ce minéral est le composant dominant dans la phase argileuse de l'horizon supérieur d'un sol sur granite de LACAPELLE-VIESCAMP (Cantal).

L'interstratifié présente les raies suivantes : (fig. 26)

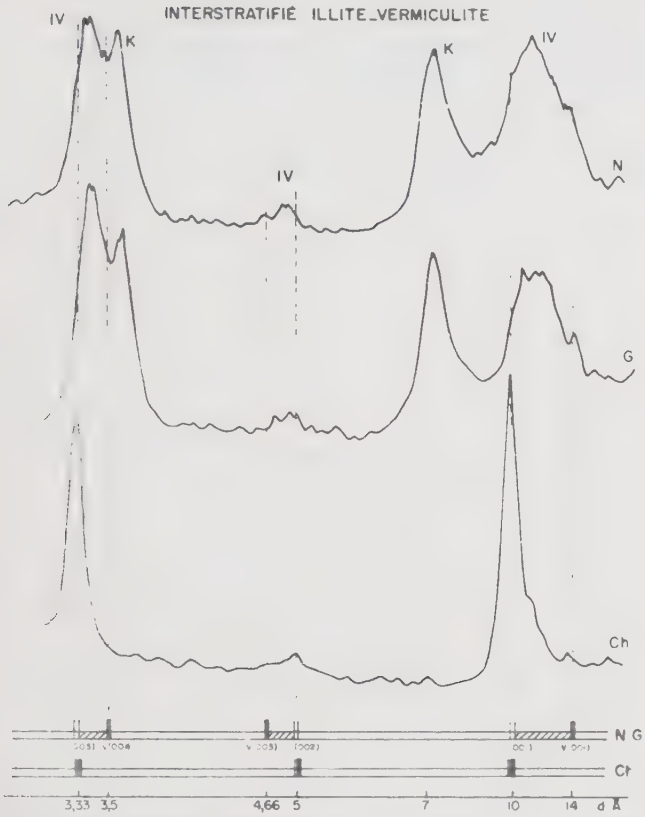


Fig 25 PHASE ARGILEUSE INTERSTRATIFIÉ ILLITE_VERMICULITE SOL SUR GRANITE COL. DE LA LHOZE (P O)

Diffractogrammes et zones theoriques d'apparition de reflexes mixtes illite_vermiculite pour chacune des trois préparations (N, G, Ch)

Raies propres à l'illite | Raies propres à la vermiculite | Zones d'interférence

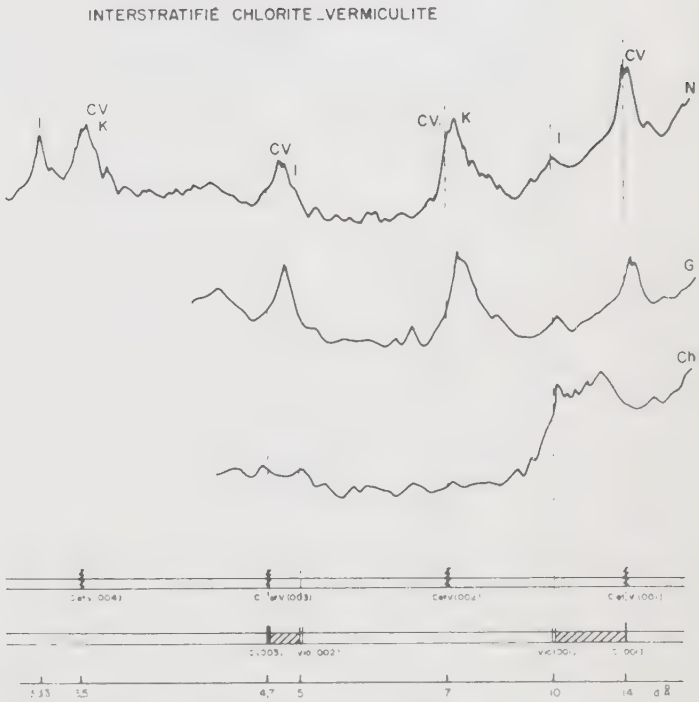


Fig 26 PHASE ARGILEUSE A INTERSTRATIFIÉ CHLORITE_VERMICULITE _ SOL SUR GRANITE. LACAPELLE VIESCAMP (Cantal)

Diffractogrammes et zones théoriques d'apparition de reflexes mixtes chlorite_vermiculite pour chacune des trois preparations (N, G, Ch)

Raies propres à la vermiculite | Raies propres à la chlorite | Zones d'interférence

Normal	Glycol	Chaleur
14 Å (fine) F	Aucun	Plateau 13-10 Å F
7 Å ("plaquée" sur K_{001}) f		
4,85 Å (assez large) AF	changement.	Plateau 5-4,7 Å (à peine visible) tf
3,5 Å ("plaquée" sur K_{002}) f		

Comme dans le cas précédent, on se trouve en présence d'un interstratifié du groupe 2. L'équidistance de la première raie et son comportement à la chaleur permettent d'attribuer ce minéral à un interstratifié chlorite-vermiculite. Ici encore le diagramme théorique coïncide avec les faits observés.

4° - "Interstratifié" complexe gonflant

Cet édifice a été rencontré au sommet d'un sol hydromorphe prélevé dans les marais de BLANQUEFORT (Gironde). Constituant majeur de la phase argileuse, il y est associé à de notables quantités de kaolinite. Outre les traitements habituels (N, G, Ch), les phyllites ont subi une saturation en $MgCl_2$. Deux séries de diagrammes ont ainsi été réalisées : l'une à partir de l'argile naturelle, l'autre après saturation préalable en $MgCl_2$.

Les réactions de l'interstratifié à ces traitements (fig. 27 et 28) sont résumées dans les tableaux suivants :

- Echantillon naturel :

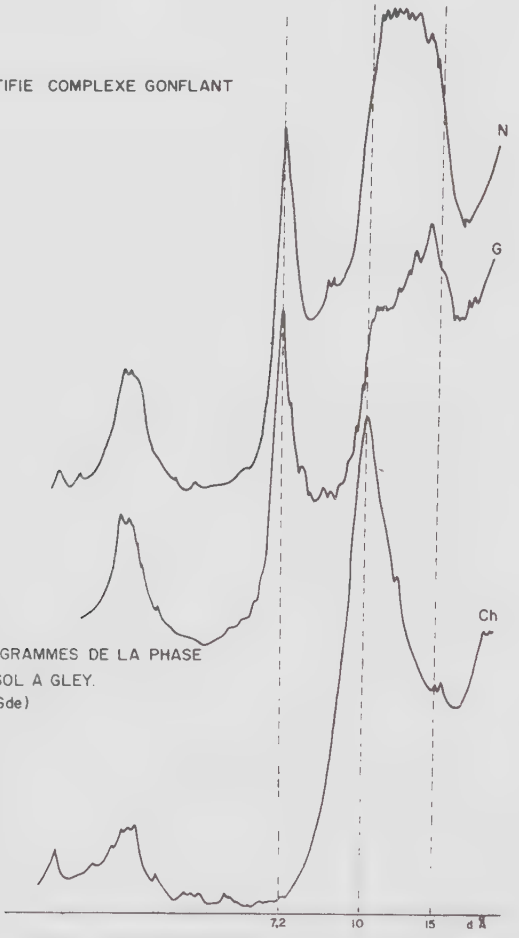


Fig 27. DIFFRACTOGRAMMES DE LA PHASE ARGILEUSE D'UN SOL A GLEY. BLANQUEFORT (Gde) Échantillon brut

Normal	Glycol	Chaleur
13,8 à 10,3 Å (plateau très large) TF	13,8 Å (raie large) F 13,6 à 10,2 Å (épaulement)	
	10,2 à 10 Å (raie floue) f	10 Å (raie dissymétrique avec épaulement de 14 à 10 Å) TF
4,9 à 4,75 Å (raie large) F	4,9 à 4,75 Å (raie large) F	5,3 à 4,3 Å (raie floue) AF

– Echantillon saturé en $MgCl_2$:

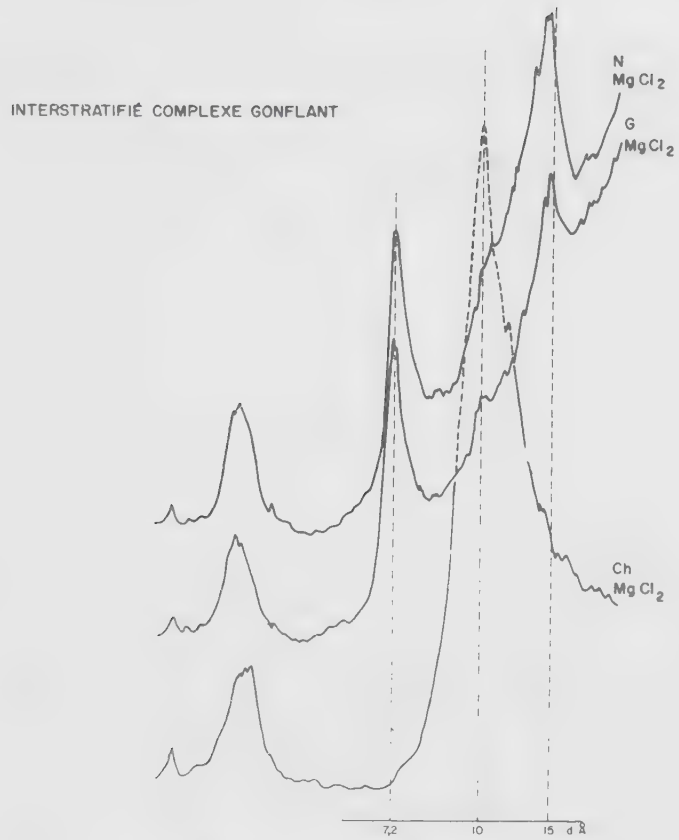


Fig 28. DIFFRACTOGRAMMES DE LA PHASE ARGILEUSE D'UN SOL A GLEY
BLANQUEFORT (Gde)
Échantillon traité à $MgCl_2$

Normal	Glycol	Chaleur
14 Å TF (raie large et fortement dissymétrique vers les petits angles).	Pas de changements majeurs	10 Å TTF (raie dissymétrique vers les grands angles).
4,9 à 4,8 Å F (raie large)		4,9 à 4,8 Å F (raie large)

Il ne s'agit pas ici d'un édifice interstratifié au sens propre du terme, mais d'une interstratification que SABATIER (in LUCAS, 1961) qualifie de "banale" par opposition aux "interstratifications fondamentales inchangées par les traitements chimiques légers". Si l'argile naturelle se comporte en effet schématiquement comme un interstratifié de type illite-montmorillonite, après saturation en $MgCl_2$ au contraire, ses réactions deviennent très voisines de celles de la vermiculite.

Deux terminologies peuvent alors être utilisées pour désigner cet édifice :

1. – On peut considérer qu'il s'agit d'une vermiculite gonflante irrégulièrement désaturée en magnésium. CAILLERE et HENIN (1964) remarquent que la substitution du Mg^{++} des vermiculites par NH_4^+ ou K^+ fait passer leur équidistance basale de 14,5 à 10,6 Å et que celle-ci n'est plus alors stable au glycol.

2. – On peut considérer l'édifice sous l'angle de "l'interstratification banale" de feuillets de vermiculite plus ou moins désaturés en Mg^{++}, donc plus ou moins gonflants.

Quoi qu'il en soit, le fait important demeure la présence de feuillets de vermiculite. Il convient de remarquer enfin la dissymétrie des raies à 10 Å des diagrammes "chaleur". Elle traduit la présence de quelques feuillets de type chlorite, interstratifiés avec la vermiculite.

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION DES PROFILS

Résultats analytiques

Chapitre premier

INTRODUCTION

I.- SITUATION GEOGRAPHIQUE DES PROFILS

I.- LES SOLS DU DEPARTEMENT DE LA GIRONDE

La plupart des profils étudiés proviennent de la Gironde. Deux idées directrices ont présidé au choix des exemples :

1°- Le substratum géologique

Dans la mesure du possible nous avons tenté de réaliser un inventaire des profils d'altération des principales formations géologiques affleurant en Gironde. Ce sont donc en général des sols sur des terrains d'âge tertiaire et quaternaire qui ont été examinés.

2°- La vocation culturale de la Gironde : la vigne

Il est difficile d'entreprendre une étude pédologique en Gironde, sans envisager l'évolution des sols liés à la viticulture. Parallèlement à l'optique géologique nous avons donc voulu dresser un schéma des principaux cortèges argileux rencontrés dans les sols du vignoble girondin. Nous avons ainsi été amené à étudier plus particulièrement les formations pliocènes et les terrasses alluviales qui constituent le substratum des sols de graves et fournissent les meilleurs vins de la Gironde.

II.- LES SOLS DES DEPARTEMENTS VOISINS

Quelques profils ont également été échantillonnés hors de la Gironde. Parmi ceux-ci, les uns ont été choisis sur les calcaires crétacés de la Charente, de la Charente-Maritime et de la Dordogne. La richesse de ces terrains en montmorillonite a permis de caractériser l'évolution de ce minéral et son incidence sur la végétation.

D'autres profils sont caractéristiques des sols développés sur certaines grandes formations affleurant sur de vastes étendues aux confins de la Gironde ("Sables du Périgord" en particulier).

Enfin certains des échantillons recueillis proviennent de sols de montagne (Massif Central, Pyrénées). Leur étude a permis de saisir les premières apparitions des minéraux argileux au cours de la dégradation des formations cristallines de ces régions.

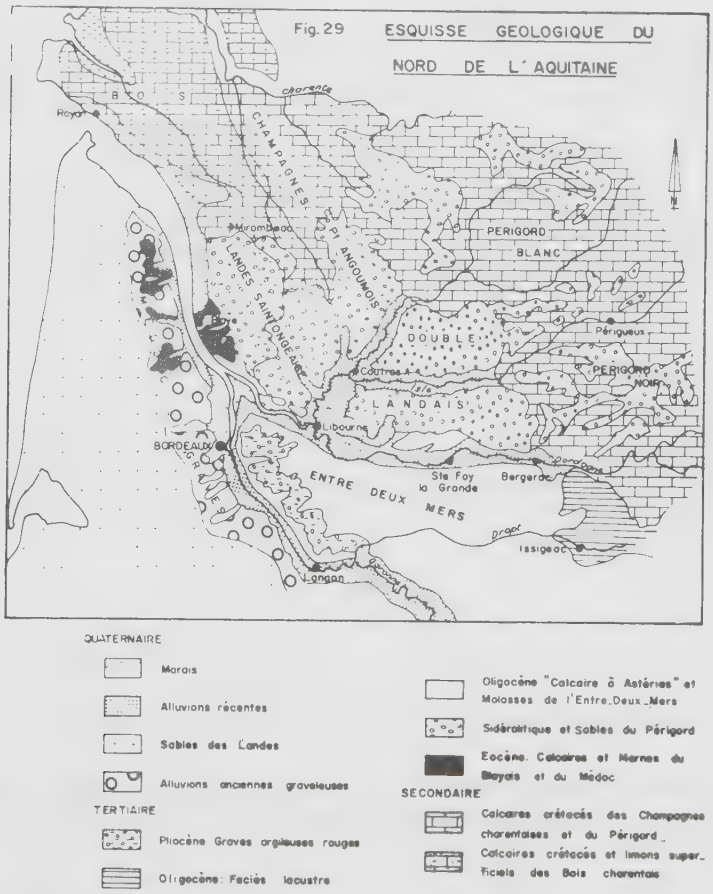
II.- LES DONNEES GEOLOGIQUES

Avant d'entreprendre l'exposé des résultats de cette étude, il convient de définir le cadre géologique de la région prospectée. L'un des caractères dominants du Bassin Aquitain réside dans la grande variété des terrains venant à l'affleurement. Cette diversité résulte :

- de la disposition générale du bassin en cuvette. Du Massif Central à la côte girondine apparaissent ainsi successivement des dépôts de plus en plus récents allant du Paléozoïque au Quaternaire.

- de la présence de nombreux axes anticlinaux mettant au jour diverses formations habituellement masquées par des dépôts superficiels plus récents.

PRINCIPALES FORMATIONS SOUMISES A L'ALTERATION PEDOGENETIQUE EN AQUITAINE SEPTENTRIONALE (fig. 29)



I.- LE CRETACE

Il constitue la bordure nord et nord-est du bassin. Représenté exclusivement par le Crétacé supérieur, il est formé de calcaires fins, parfois massifs, souvent crayeux affleurant sur de vastes surfaces en Charente. En Dordogne, ces niveaux sont fréquemment masqués sous les formations détritiques du "Sidérolithique".

II. - LE TERTIAIRE

1° - L'Eocène

Parmi les sédiments d'âge éocène seuls ceux de l'Eocène supérieur affleurent sur des étendues notables. Les dépôts d'âge éocène inférieur et moyen sont en effet très localisés et n'apparaissent qu'à l'état de lambeaux (sables de l'Eocène inférieur de SAINT-PALAIS et MESCHERS), ou épisodiquement à la faveur de bombements anticlinaux peu développés (Lutétien supérieur des calcaires de BLAYE et de LISTRAC).

L'Eocène supérieur au contraire offre une extension beaucoup plus importante, encore que très irrégulière, de part et d'autre de l'estuaire de la Gironde, dans le Blayais et en Médoc (M. VIGNEAUX, 1964) où il est représenté par les formations suivantes :

a)- Les couches à Ostrea cucullaris :

Elles affleurent en particulier dans la région de BLAYE où elles offrent un faciès marneux.

b)- Les formations lacustres de PLASSAC :

Directement superposées aux couches à Ostrea cucullaris, elles sont constituées de marnes blanches et de calcaires sublithographiques. Ces formations sont relativement bien développées en Blayais.

c)- La formation de SAINT-ESTEPHE :

Sous cette appellation on a coutume de ranger diverses couches transgressives sur le calcaire de PLASSAC. D'importants témoins de cet ensemble se retrouvent de part et d'autre de l'estuaire de la Gironde, notamment sur la rive gauche. Ces sédiments se présentent sous les faciès suivants : (BOUTOT, KLINGEBIEL et LATOUCHE, 1963) :

- marneux : marnes à Ostrea bersonensis, marnes à Sismondia.
- calcaires : calcaires de St-ESTEPHE ; calcaire de St-YZANS.
- argileux : argiles à Ostrea bersonensis.

Enfin, vers l'Est, l'Eocène supérieur passe à des faciès molassiques fréquemment confondus avec la molasse supérieure du Fronsadais d'âge oligocène. On admet que dans ces régions le cycle éocène se termine avec les faciès lacustres du Calcaire d'ISSIGEAC.

2° - L'Oligocène

a)- L'Oligocène débute avec des formations se présentant sous deux faciès (M. VIGNEAUX, 1964).

- A l'Ouest (Blayais) des faciès littoraux constitués d'argiles et de calcaires gréseux à Anomies. Ces terrains n'ont qu'une extension très localisée et très réduite.
- A l'Est des faciès molassiques subcontinentaux, désignés sous le nom de **Molasse supérieure du Fronsadais** et affleurant en Entre-Deux-Mers et en Libournais sur d'assez vastes étendues.

b)- La grande transgression oligocène se traduit en Bordelais par le dépôt de la puissante formation du "**Calcaire à Astéries**" d'âge stampien. Ce calcaire grossier, fréquemment zoogène, constitue le soubassement de la majeure partie des coteaux de la région. Par suite du recouvrement pliocène ou quaternaire, il ne vient toutefois qu'assez rarement à l'affleurement et n'est directement soumis à la pédogénèse que le long des grandes vallées fluviales. Par contre le rôle de ces dépôts est fondamental dans la morphologie de plusieurs régions : Blayais, Libournais, Entre-Deux-Mers, Réolais. En outre, ces calcaires constituent une gigantesque réserve en calcium dont hériteront à des degrés variables les sols sus-jacents et les colluvions.

Malgré la présence de la couverture superficielle, ces formations "pilotent" donc l'évolution des sols girondins du double point de vue morphologique et chimique.

c)– La régression marine post-oligocène a laissé en Aquitaine quelques témoins attribués au Chattien. Ce sont, soit des dépôts lacustres calcaires, soit des marnes sableuses donnant d'assez larges affleurements en Entre-Deux-Mers. Cependant ces formations sont généralement mélangées soit à des argiles de décalcification du "Calcaire à Astéries", soit à des limons superficiels, et ne peuvent donc pas, individuellement, être considérées comme une véritable roche-mère.

3° – La sédimentation détritique continentale du nord et du nord-est de l'Aquitaine

Sur un vaste périmètre situé au nord de la vallée de la Dordogne (Périgord, Landais, Double, Landes saintongeaises) apparaissent des formations très détritiques d'origine continentale. Deux épandages se sont succédé : (SCHOELLER 1941, KULBICKI 1957, RECHINIAC 1962).

a)– Le "Sidérolithique" :

Sa mise en place a débuté au Paléocène et s'est poursuivie durant la majeure partie du cycle éocène. Il est constitué de sédiments grossiers, très hétérogènes (blocs, galets, sables, argiles) de couleurs généralement vives, stratifiés très irrégulièrement. Les concrétions ferrugineuses y sont fréquentes et témoignent des conditions latéritisantes ayant présidé à la formation de ces dépôts issus eux-mêmes du démantèlement des sols latéritiques élaborés au Crétacé supérieur sur le Massif Central.

b)– Les "Sables du Périgord" :

Dans la région de la Double en particulier, le Sidérolithique est recouvert par des sables argileux micacés et feldspathiques. L'épandage de ces sédiments se serait produit à la fin de l'Eocène et durant l'Oligocène.

4° – Le Miocène

Dans le nord de l'Aquitaine les transgressions miocènes se sont cantonnées à la partie occidentale du bassin. Les dépôts de cet âge, généralement constitués de calcaires et de faluns sont presque toujours masqués sous un épais manteau de "Sables des Landes". Ils ne jouent donc qu'un rôle très secondaire dans la pédologie locale. Toutefois leur influence est parfois sensible dans l'évolution de certains profils, dans les zones où la couverture récente est peu épaisse.

5° – Le Pliocène

En Bordelais le Pliocène est exclusivement représenté par des formations d'origine continentale. Typiquement, celles-ci sont constituées de sédiments argilo-graveleux rouges bien développés sur les coteaux de "Calcaire à Astéries" de l'Entre-Deux-Mers et du Blayais.

Dans la partie est de l'Entre-Deux-Mers, des formations limoneuses rougeâtres ont également été attribuées au Pliocène. Elles paraissent correspondre davantage, soit à des produits de pédogénèse ancienne affectant la Molasse de l'Agenais, soit à des limons éoliens récents.

III. – LE QUATERNAIRE

Les sédiments quaternaires occupent en Aquitaine de très vastes étendues. Ils recouvrent fréquemment d'un fin manteau les terrains marins tertiaires et leur présence est fondamentale pour l'histoire pédologique locale. Deux types de formations se sont succédé.

1° – Des formations graveleuses d'origine fluviatile

Elles constituent les terrains de "graves" qui supportent la majeure partie du meilleur vignoble girondin. Témoins des déplacements successifs du sud au nord du lit de la Garonne (FABRE, 1939), ces dépôts sont particulièrement développés en Médoc, dans la région bordelaise et dans la région des " Graves" proprement dite au sud de BORDEAUX.

D'après leur position topographique ces sédiments ont été subdivisés en trois terrasses correspondant en principe à des phases successives des glaciations quaternaires. Des caractères lithologiques particuliers correspondraient en outre à chacune de ces terrasses.

En fait, par suite des multiples déplacements du lit du fleuve, de nombreux remaniements se sont produits et les sédiments offrent d'un point à un autre à l'intérieur d'une même terrasse d'importantes variations de composition. Ce "polymorphisme" (LAFFORGUE, RIEDEL et FRANC DE FERRIERE, 1936) qui se double fréquemment d'un "polygénisme" ou interférence des nappes, paraît incompatible avec la notion de terrasse.

Dans leur grande majorité, ces dépôts, généralement de couleur gris-blanchâtre, sont régulièrement constitués de galets et de graviers associés à de très faibles proportions d'argile. Localement, des passées plus fines, sableuses ou même argileuses, peuvent se rencontrer. Elles ne masquent cependant jamais le caractère essentiellement grossier de la sédimentation.

2° – Des formations sableuses d'origine éolienne

A quelques kilomètres à l'ouest du lit de la Garonne et de la Gironde toutes les formations géologiques précédemment décrites disparaissent sous le "Sable des Landes", d'origine essentiellement éolienne. Sa mise en place semble s'être effectuée en plusieurs phases successives, au cours d'une période récente du Quaternaire. Ces sables, épais de plusieurs dizaines de mètres, constituent la roche-mère des podzols supportant en particulier la forêt de pins et les landes.

Vers l'Est, de faibles épaisseurs de sables éoliens s'observent assez fréquemment au sommet de divers profils et semblent constituer des témoins de l'avancée du "Sable des Landes".

Enfin certains limons superficiels qui, par suite de la finesse de leur granulométrie, ne présentent pas de traces d'éolisation, ont été maintes fois rencontrés dans les profils étudiés. Leur mise en place pourrait être contemporaine de celle du "Sable des Landes".

3° – Alluvions récentes et subactuelles

Elles occupent d'assez vastes étendues le long des fleuves et des rivières. De granulométrie en général assez fine, leur composition varie selon la nature des sédiments formant le lit des cours d'eau. Elles constituent les sols de marais et de palus. Ces sédiments présentent en général d'assez fortes teneurs en matière organique.

III. – CLASSIFICATION DES PROFILS

Toute étude pédologique implique un classement des sols examinés. Il se pose alors le problème du choix d'une classification. Les plus récentes s'appuient toutes sur une base génétique. L'une d'entre elles, établie par AUBERT et DUCHAUFOUR (1956) a été adoptée ici du fait qu'elle tient compte de l'ensemble des caractères du sol. Cependant, dans l'optique géologique et dans le cadre géographique de ce travail, l'utilisation de cette classification soulève des difficultés de deux ordres :

- Essentiellement génétique cette classification n'est pas basée sur la nature de la roche-mère. Elle se prête donc mal à un inventaire des formes d'altération des divers dépôts géologiques.

- Dans les zones cultivées, les sols sont homogénéisés par les travaux et les types génétiques sont difficiles à définir. Par comparaison avec les sols forestiers une classification valable, bien qu'approchée, est toutefois réalisable.

Par contre l'utilisation d'une base génétique facilite la mise en évidence des particularités de comportement des minéraux argileux dans chacun des types de pédogénèse. Elle permet alors d'établir des comparaisons et d'expliquer des similitudes entre des profils intéressant des roches-mères très variées. C'est la raison pour laquelle cette classification a été adoptée ici.

Pour chaque profil nous nous sommes donc efforcé de définir le type génétique forestier le plus voisin. Quatre grandes classes ont ainsi pu être distinguées. Ce sont, par ordre d'évolution :

- les sols calcimorphes
- les sols évolués à mull
- les sols évolués à humus brut
- les sols hydromorphes.

A ces quatre classes, nous avons ajouté les "sols de montagne" qui, bien que n'appartenant pas à ce titre à la classification génétique, présentent un ensemble de particularités communes justifiant, à notre avis, leur classement dans un groupe séparé.

Chacune des classes ainsi énumérées fera l'objet de l'un des chapitres suivants.

Chapitre II

LES SOLS CALCIMORPHES

En raison de la diversité des formations carbonatées affleurant en Aquitaine, les sols calcimorphes qu'elles ont engendrés sont très variés. Il semble donc souhaitable de rappeler ici brièvement les grands traits de la classification de ces sols.

Dans la classe des sols calcimorphes, ou sols à complexe absorbant saturé en Ca^{++} et Mg^{++}, DUCHAUFOUR (1960) distingue principalement deux sous-classes :

1.– Des sols d'origine climatique ou zonaux : sols de steppes, sols de climat chaud.

2.– Des sols azonaux : c'est-à-dire des sols dont la nature et l'évolution sont relativement indépendantes des conditions climatiques et ne sont liées qu'à la seule présence d'une roche-mère riche en carbonates. C'est à cette sous-classe qu'appartiennent tous les sols calcimorphes de la zone tempérée.

Parmi ces derniers, plusieurs groupes peuvent être distingués :

Premier groupe : Sols peu évolués à profil AC (1) ou rendzines typiques :

Ils présentent le profil type suivant .

– Au-dessus de la roche-mère (C) il n'existe qu'un seul horizon (A) à structure grenue, uniformément constitué d'un mélange intime de cailloux calcaires, de matière organique et d'argile ou de sable.
– La teneur en carbonates de la terre fine est toujours élevée et les pH sont voisins de 8.
– L'humus est de type mull calcique bien décomposé, riche en azote.

Dans ce groupe on peut distinguer, d'après la couleur, les types suivants :

a)– rendzines grises ou blanches :

Très riches en carbonates ; relativement pauvres en humus.

b)– rendzines rouges :

Plus pauvres en carbonates ; riches en oxydes de fer.

c)– rendzines noires, forestières :

Très humifères, peu argileuses.

1. La désignation des horizons a été établie d'après la nomenclature internationale. Celle-ci est donnée en annexe 4.

Deuxième groupe : Sols évoluant vers un profil de type A(B)C ou ABC : Sols calcaires brunifiés

Ces sols se développent sur des roches-mères moins carbonatées et plus riches en limon et argile. Par rapport aux rendzines typiques ils contiennent en général moins d'humus. Ce dernier reste cependant de type mull calcique saturé en Ca^{++} ou Mg^{++}. Enfin une amorce d'horizon d'accumulation B plus ou moins ocre s'individualise. Deux types de sols peuvent être rangés dans cette catégorie :

a)– Les rendzines brunifiées ou dégradées :

Sous un horizon A décarbonaté à structure grenue s'individualise un horizon A_2B à structure polyédrique. Les pH sont voisins de 6,5 à 7.

b)– Les sols bruns calcaires :

La structure grenue caractéristique des rendzines disparaît totalement. Elle est remplacée par une structure polyédrique sur les marnes et argiles et par une structure particulaire sur roche-mère riche en sable. Le sol ne contient plus de cailloux, mais il est plus ou moins incomplètement décarbonaté et de ce fait les pH sont variables.

1 – BLAYE (Gironde). Sol sur " Calcaire de Plassac " (Eocène supérieur)

Rendzine grise

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 364,85
y = 317
z = + 25

CARACTERES GENERAUX :

Sol en friche anciennement planté en vigne, sur calcaire lacustre de PLASSAC d'âge éocène supérieur. Le prélèvement a été effectué à quelques dizaines de mètres d'un affleurement du calcaire. L'ensemble de la zone prospectée présente une topographie horizontale.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 20 cm : A (GA 13.017) : Sol gris-brun foncé à structure grumeleuse. Très nombreux cailloux calcaires. Racines de graminées très abondantes.

20 cm et en dessous : C (GA 13.016) : Calcaire lacustre blanc plus ou moins altéré.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		M + IM	Att	I	K
A	12,3	7,1	30,8	39,2	50,5	23,8	8,2	T	20	65	15
C	CALCAIRE				88	-	7,9	T	50	45	5

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

Rendzine typique à structure grumeleuse et forte teneur en matière organique de l'horizon superficiel. Le sol, peu épais, est très riche en cailloux calcaires hérités de la roche-mère. La terre fine elle-même contient une proportion importante de calcite et présente une réaction nettement alcaline.

2° - Minéraux argileux :

La phase argileuse du calcaire est constituée d'attapulgite légèrement dominante sur l'illite. Des traces de kaolinite et d'interstratifiés gonflants complètent ce cortège (fig. 21).

L'abondance de l'attapulgite est très caractéristique des faciès lacustres de l'Eocène supérieur dans lesquels ce minéral a été très fréquemment mis en évidence (KULBICKI, 1953 ; KLINGEBIEL, 1961 : BOUTOT, KLINGEBIEL et LATOUCHE, 1963 ; MILLOT, 1964).

Dans le sol sus-jacent les proportions d'attapulgite diminuent fortement. Ce minéral reste cependant présent au sommet du profil où les pourcentages de kaolinite et d'illite augmentent notablement.

Remarques :

1. - Tant dans le sol que dans le calcaire, la mise en évidence de l'attapulgite s'avère particulièrement difficile. Seule l'utilisation conjuguée de la diffractométrie X, de l'analyse thermopondérale et surtout de la microscopie électronique, permet de conclure à la présence de ce minéral (cf. fig. 21 et 22).

2. - La mesure du rapport A des illites $\frac{I\ (001)}{I\ (002)}$ donne des valeurs anormalement élevées (5) pour les phyllites de la roche-mère. Cette anomalie tient au fait que la raie 001 de l'illite (10 Å) est renforcée par la raie 110 de l'attapulgite (10,5 Å). Elle peut donc constituer un élément de détection de ce minéral au seul vu de cette caractéristique des diffractogrammes.

2 - CHENAC (Charente-Maritime). Sol sur calcaire campanien

Rendzine blanche

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 351,55
y = 361,30
z = + 21

CARACTERES GENERAUX :

Sol en friche sur les coteaux de calcaire campanien bordant la rive droite de l'estuaire de la Gironde. La terre s'apparente à celle de la "Champagne charentaise". Le profil a été prélevé à flanc de coteau sur une pente d'environ 20 %.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 25 cm : A (GA 22.718) : Horizon marneux gris-blanchâtre assez humifère à structure gru-

meleuse. Les racines de graminées et les cailloux calcaires sont très abondants.

25 cm et en dessous : C (GA 22.719) : Calcaire blanc très altéré, pulvérulent.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K
A	5,4	7,9	50,7	31,6	23	18	7,5	85	T	10	5
C	CALCAIRE				65	51	8,2	95	T	T	T

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

La forte teneur du sol en carbonates, sa richesse en cailloux calcaires, sa structure grumeleuse, sa réaction nettement basique sont très caractéristiques des profils de rendzines blanches de la Champagne charentaise.

2° – Minéraux argileux :

Dans le calcaire la teneur en argile est très faible. Celle-ci n'est pratiquement représentée que par la montmorillonite qui, dans l'horizon superficiel, reste très largement dominante. Sa cristallinité y est cependant légèrement altérée (élargissement de sa raie à 14 Å) et des traces d'illite et de kaolinite apparaissent.

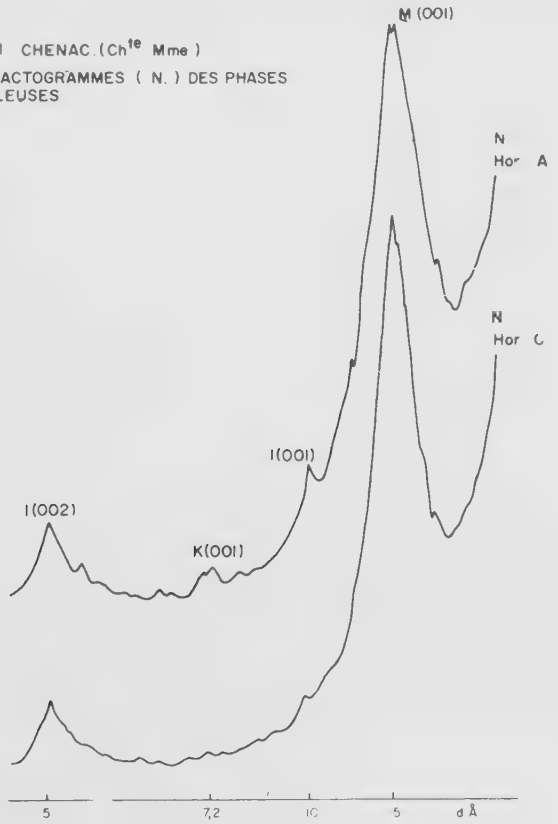


Fig. 31 CHENAC (Ch^te Mme)
DIFFRACTOGRAMMES (N.) DES PHASES ARGILEUSES

L'étude thermogravimétrique de la fraction argileuse de l'horizon superficiel montre une perte d'eau presque continue de 100 à 700° C. Les paliers caractéristiques de la montmorillonite y sont difficilement discernables. L'édifice cristallin semble donc être légèrement dégradé.

3 - BLAYE (Gironde). Sol sur "Marnes à Ostrea cucullaris" (Eocène supérieur)

Rendzine grise

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 364,20
y = 317,10
z = + 14

CARACTERES GENERAUX :

Sol en friche développé sur la formation dite des "marnes à Ostrea cucullaris" d'âge éocène supérieur. Le profil a été prélevé au sommet de la coupe classique de la "Carrière de l'Octroi" à BLAYE.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 25 cm : A (GA 13.012) : Horizon humifère grisâtre à structure grumeleuse. Nombreux cailloux calcaréo-marneux. Feutrage dense de racines de graminées.

25 à 50 cm : C(1) (GA 13.013) : Marne beige altérée. Cailloux calcaires. Quelques racines de forte taille.

50 cm et en dessous : C(2) (non échantillonné) : Marne intacte à nombreuses coquilles d'Ostrea cucullaris.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				pH	C		ARGILES				
	SG	SF	L	A		T	A	M	IM	I	K	Ch
A	12,8	9,3	25,5	45,4	7,9	42,5	19,2	30	T	55	15	T
C(1)	11,9	8,6	29,6	41,8	8	39	22,8	30	5	50	15	T

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

Ce sol présente en surface une structure grenue caractéristique des rendzines. La teneur en carbonates est très élevée dans tout le profil et reste voisine de 40 %.

La réalisation de diagrammes de poudre montre qu'une forte proportion de dolomite accompagne la calcite. Cette dernière présente ici une altérabilité plus grande que la dolomite puisque le rapport dolomite/calcite augmente légèrement au sommet du profil.

Les pH présentent des valeurs nettement basiques et voisines de 8. Comme dans toutes les rendzines, la teneur en matière organique est élevée dans l'horizon superficiel. Enfin, aucune trace de lessivage de l'argile n'apparaît et sur le terrain on n'observe pas de variation de coloration susceptible d'individualiser un horizon d'accumulation du fer.

2° - Minéraux argileux :

La teneur en argile est assez élevée et varie entre 40 et 45 % de la terre fine.

Dans la roche-mère l'illite est dominante (50 % environ) sur la montmorillonite (30 %) et la kaolinite (15 %). On note enfin des traces d'interstratifiés illite-montmorillonite et de chlorite.

Dans l'horizon de surface, ce cortège évolue très peu. Seuls disparaissent les interstratifiés. Les autres minéraux ne présentent aucune fluctuation. Pour les illites en particulier, la constance du rapport A (1,8) traduit l'absence de toute évolution.

4 - GEMOZAC (Chte-Mme). Sol sur terra-fusca et calcaire campanien

Rendzine rouge

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 365,90
y = 365,85
z = + 40

CARACTERES GENERAUX :

Sol de champ cultivé en blé et betteraves de la région des "Bois" charentais. Le prélèvement a été effectué en station parfaitement horizontale.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 25 cm : A_D (GA 13.032) : Horizon humifère gris-brunâtre, argileux. Nombreux cailloux calcaires. Structure partiellement grenue.

25 à 60 cm : $B(C_1)$ (GA 13.033) : Argile sableuse bistre foncé à structure polyédrique. Quelques cailloux calcaires et très nombreux nodules ferrugineux brun-noirâtre.

60 cm et en dessous : C_2 (GA 13.034) : Calcaire blanc altéré d'âge campanien.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K
A	22,6	16,6	19,7	41,1	8,0	2,1	7,4	40	30	20	10
$B(C_1)$	12,8	7	28,5	51,7	0	0	7,6	80	10		10

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques

L'argile bistre recouvrant le calcaire est probablement une formation de type "Terra-fusca" résultant à la fois de la décalcification du calcaire et d'apports d'éléments allochtones. Ce fait est confirmé par la présence de grains ronds-mats dans la fraction clastique, alors que ceux-ci sont totalement absents dans le calcaire crétacé sous-jacent. Cette formation a été décarbonatée au cours d'une phase de pédogénèse ancienne, responsable de la formation des nombreux nodules ferrugineux dont la présence est difficilement expliquable dans le contexte climatique actuel.

Cette argile constitue la véritable roche-mère du profil. Quant à l'horizon superficiel, il s'apparente à celui d'une rendzine rouge à faible teneur en carbonates. Ceux-ci proviennent uniquement du fractionnement des rares cailloux calcaires qui ont été préservés lors de la décarbonatation de la terra-fusca. Les pH basiques et la structure encore assez nettement grenue en surface sont caractéristiques des rendzines.

2° - Minéraux argileux :

La terra-fusca présente une forte teneur en montmorillonite bien cristallisée. De très faibles pourcentages d'illite, de kaolinite et d'interstratifiés illite-montmorillonite, sont également présents. Ce cortège est très voisin de celui des formations crétacées sous-jacentes.

Dans l'horizon superficiel la composition évolue notablement et s'avère assez instable. Plusieurs prélèvements effectués à quelques dizaines de mètres d'intervalles fournissent en effet un cortège argileux différent : la montmorillonite dégradée ou son interstratifié illite-montmorillonite y sont alternativement dominants sur de faibles quantités d'illite et de kaolinite. La phase argileuse évolue donc en fonction des "micro-conditions" pédologiques locales, et la composition qui lui est assignée dans le tableau est le résultat d'une moyenne de plusieurs analyses.

5 - PRIGNAC et CAZELLES (Gironde). Sol sur "Calcaire à Astéries" (Oligocène)

Rendzine brunifiée

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 377,85
y = 306,80
z = + 31 m

CARACTERES GENERAUX :

Rendzine brunifiée sur les coteaux de "Calcaire à Astéries" de la région de BOURG-SUR-GIRONDE. Le prélèvement a été effectué en station horizontale en bordure d'une parcelle de vigne.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 50 cm : A_p(B) (GA 13.185-1) : Horizon remanié par les cultures. Sable argileux brun-bistre. Très nombreuses particules calcaires dont quelques-unes de forte taille (5 cm).

50 cm et en dessous : C (GA 13.185-2) : "Calcaire à Astéries" jaunâtre très altéré et très friable.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K
A_p (B)	36,9	15,5	14,2	27,5	13,5	4,2	7,3	20		50	30
C	5,3	0,6	4,6		84			20	-	70	10

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Sol à texture limono-argileuse relativement équilibrée. La décarbonatation du sol est incomplète en raison du fractionnement des gros cailloux calcaires remontés lors des labours. Ceux-ci ont perturbé légèrement la superposition normale. Il n'y a donc pas individualisation d'un niveau d'accumulation B. La coloration brune de la terre différencie cependant ce sol des rendzines vraies. De plus, les pH sont ici moins franchement basiques que dans ces dernières.

2° – Minéraux argileux :

Le calcaire attaqué à HCl a fourni un résidu argileux suffisamment abondant pour être analysé. Toutefois ce traitement n'a peut-être pas livré un matériel absolument intact et les résultats obtenus peuvent ne pas refléter exactement la composition originelle de la fraction argileuse liée au calcaire. L'illite très fortement dominante présente des raies très fines. 10 % de kaolinite lui sont associés ainsi que 20 % environ de montmorillonite assez fortement dégradée.

Dans le sol, l'évolution est assez sensible. L'illite n'y représente plus que 50 % environ de la phase argileuse et l'élargissement de sa raie 001 montre que sa cristallinité est assez nettement altérée. Cette raie est d'autre part "flanquée" d'un "plateau" entre 10 et 15 Å, passant à 12-17 Å après glycolation. Celui-ci disparaît après chauffage à 550° C et semble donc attribuable à un mélange de montmorillonite et d'interstratifiés illite-montmorillonite. L'appréciation de leur abondance est assez délicate. Nous l'avons estimée globalement à 20 % environ. La kaolinite enfin, voit ses pourcentages passer à 30 %.

Remarque :

Les illites se caractérisent par un rapport A assez élevé (3), traduisant, semble-t-il, un état de désaturation avancé en potassium. Cette observation n'est cependant pas valable pour les illites de la roche-mère qui ont pu être altérées au cours du traitement à HCl.

6 – BLAYE (Gironde). Sol sur "Marnes à Ostrea bersonensis"

Régosol (1) calcaire

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 364,90
y = 317,15
z = + 35

1. Régosol : sol non évolué résultant de la simple mise au jour de la roche-mère.

CARACTERES GENERAUX :

Sol de vigne sur marnes de l'Eocène supérieur terminal, dites "Marnes à Ostrea bersonensis". Le profil a été prélevé au flanc des coteaux surplombant l'estuaire de la Gironde au sud de BLAYE.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 20 cm : A (GA 13.023) : Horizon légèrement humifère marneux plastique, brun-verdâtre. Quelques nodules calcaires de petite taille.

60 cm : C (GA 13.025) : Marne argileuse très plastique, verte.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				pH	C		ARGILES		
	SG	SF	L	A		T	A	M + IM	I	K
A	12,8	9,3	25,5	45,4	7,9	31	19	T	70	30
C	11,9	8,6	29,6	41,8	8,1	19	10,5	10	60	30

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A	0,87	S	0,32
C	0,63	S	0,42

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Sol de type régosol très jeune, très peu épais et essentiellement argileux comme la roche-mère. Sur le terrain, l'horizon superficiel ne se différencie de celle-ci que par une coloration légèrement plus foncée par suite de sa teneur plus élevée en matière organique. En raison de l'abondance des carbonates, les pH sont très basiques.

L'érosion des calcaires couronnant la butte a enrichi l'horizon superficiel en calcite (31 % en surface – 19 % en profondeur).

Le ravinement par les eaux superficielles paraît donc responsable de la jeunesse du profil.

2° – Minéraux argileux :

L'illite bien cristallisée reste toujours le constituant majeur, associé à 30 % environ de kaolinite. La montmorillonite est présente à l'état de traces dans la roche-mère. Au sommet du profil, elle disparaît pratiquement ce qui détermine une légère augmentation relative des proportions d'illite dont le rapport A varie par ailleurs assez peu (2,2 – 2,4). La kaolinite ne subit aucune variation.

7-8 – MONTAGNE (1) (Gironde).
Sols sur "Calcaire à Astéries" et argile de décalcification
Rendzine rouge – Sol brun calcaire

LOCALISATION GEOGRAPHIQUE :

x = 404,80
y = 297,00
z = + 63

CARACTERES GENERAUX :

Sols du vignoble de la région de SAINT-EMILION. Deux profils très voisins ont été étudiés. L'un (n° 7), situé près du sommet du coteau, est une rendzine caractéristique sur calcaire à Astéries (Stampien). L'autre (n° 8), situé au bas de la pente, ne repose pas directement sur le calcaire. En effet, par suite du colluvionnement, l'argile de décalcification de ce dernier s'est accumulée et constitue la roche-mère du sol. En raison de leur proximité, les deux profils ont été étudiés conjointement.

A. – PROFIL N° 7

1° – Description :

0 à 15 cm : A_1 : Limon argileux humifère marron-noirâtre. Quelques cailloux calcaires.

15 à 35 cm : A'_1 : Limon fin gris-beige et cailloux calcaires altérés.

35 à 60 cm : C : Calcaire altéré et limon de couleur claire.

2° – Résultats d'analyses :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K	Ch
A_1	22,9	14,3	32,5	26,5	36,5	13	7,8	-	T	80	20	T
A'_1	19,9	14,6	40,5	22,5	44	14	8,0	10		70	20	T
C	12,9	14,8	45,5	25,5	65	15,5	8,2	10	10	65	15	T

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT			
	K^+	Ca^{++}	Na^+	Mg^{++}
A_1	0,91	S	0,30	1,25
A'_1	0,87	S	0,31	1,37
C	0.59	S	0,30	1,90

1. Echantillonnage et analyses pédologiques : G. SEGUIN.

B. – PROFIL N° 8

1° – Description :

0 à 15 cm : A_1 : Limon humifère brun-noirâtre.

15 à 35 cm : (B) : Limon argileux brun.

35 à 60 cm : C : Limon argileux brun.

2° – Résultats d'analyses :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K	Ch
A	38,2	12,3	20,5	19,5	3,5	1	7,6	-	T	80	20	T
(B)	34,1	13,8	24	21	5	1,5	7,9	10	5	65	20	T
C	31,5	10,3	23,5	26,5	3	1	8,0	20	5	55	20	T

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT			
	K^+	Ca^{++}	Na^+	Mg^{++}
A_1	1,6	S	0,30	1,52
(B)	0,40	S	0,25	1,82
C	0,35	S	0,30	1,37

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Les teneurs élevées en carbonates, les pH nettement alcalins, permettent d'assimiler le premier profil à celui d'une rendzine, bien que les cultures aient quelque peu modifié la structure et la morphologie caractéristiques de ce type de sol.

Le profil sur argile de décalcification ne contient au contraire que très peu de calcaire et l'horizon superficiel présente un léger appauvrissement en éléments argileux. Toutefois, le complexe absorbant reste saturé en Ca^{++}. Ces caractères sont ceux d'un sol brun calcaire. Il convient cependant de noter qu'en raison de la position topographique du profil, les phénomènes de colluvionnement ont perturbé l'évolution naturelle du sol.

2° – Minéraux argileux :

Les phases argileuses des deux profils sont très semblables. L'illite est toujours dominante et ses pourcentages augmentent de la base au sommet tandis que la montmorillonite et les interstratifiés présents dans la roche-mère voient leur abondance décroître régulièrement. La kaolinite est constante dans tous les horizons et des traces de chlorite s'observent partout. Les feuillets d'illite sont toujours de type ouvert et leur rapport A augmente de la base au sommet des profils (2,2 à 2,9 et 1,25 á 2,5).

9 – DOUCHAPT (Dordogne). Sol sur "terra-rossa" et calcaire campanien
Sol brun calcaire

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 451,40
y = 328,40
z = + 118 m

CARACTERES GENERAUX :

Sol sur argile de décalcification du calcaire campanien de Dordogne. Au cours de diverses phases de pédogénèse ancienne, cette argile a été rubéfiée et constitue donc une "terra-rossa" caractéristique qui sert de roche-mère au profil actuel.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 150 cm : A(B) (GA 2.099-1) : Argile bistre à brune contenant à la base quelques particules de calcaire altéré. Structure polyédrique.

150 cm et en dessous : C (GA 2.099-2) : Calcaire blanc à rognons silicifiés.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			M	IM	I	K
A(B)	2.44	4	11.1	74.7	T	7.5	75	5	15	5
C	CALCAIRE						85	10	-	5

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Le sol étant très homogène, un seul échantillon a été prélevé à 50 cm environ de profondeur. Sur le terrain aucune variation de teinte ni de structure ne permet de distinguer des horizons différents. Le sol est uniformément constitué d'une argile brune finement sableuse. Le résidu grossier obtenu après lavage est très peu abondant (2,5 %) et n'est représenté que par de fins éclats de silex hérités du calcaire qui a fourni par décalcification la quasi totalité de l'argile. La décarbonatation du sol est pratiquement complète, mais le pH demeure basique, le complexe absorbant restant saturé en calcium.

2° – Minéraux argileux :

Tant dans la roche-mère que dans le sol, la montmorillonite est dominante. Elle présente une excellente cristallinité ainsi qu'en témoignent les raies fines et symétriques des diffractogrammes. En outre, la courbe de déshydratation et le diagramme circulaire correspondant (fig. 32) s'apparentent étroitement à ceux des montmorillonites bien cristallisées.

L'illite et la kaolinite, peu abondantes dans la roche-mère, voient leurs pourcentages augmenter légèrement dans le sol. Les interstratifiés au contraire diminuent de la base au sommet du profil.

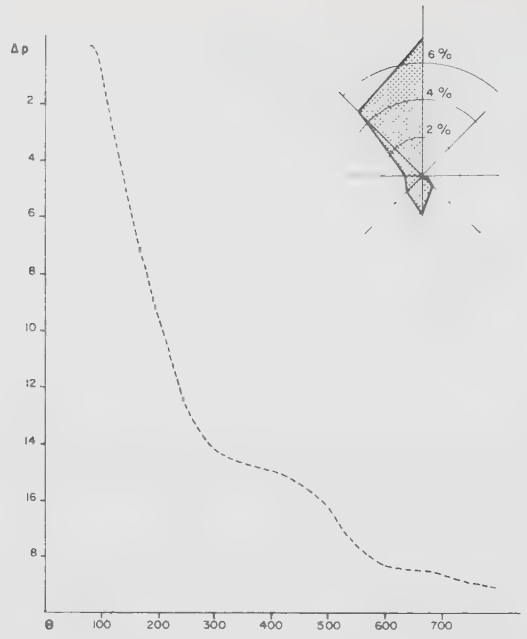


Fig 32. DOUCHAPT (Dne)_ SOL SUR CRÉTACÉ_HORIZON SUPERFICIEL_
ANALYSE THERMOGRAVIMÉTRIQUE

10 – PUJOLS (Gironde). Sol sur "Calcaire à Astéries" et limon argileux
Sol brun calcaire

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 412,30
y = 280,25
z = + 88

CARACTERES GENERAUX :

Sol de vignoble, en station sensiblement horizontale, sur les coteaux de "Calcaire à Astéries" (Oligocène) de la rive gauche de la Dordogne.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 40 cm : A_p (GA 13.001) : Limon argileux fin bistre.

40 à 95 cm : B (GA 13.002) : Argile brun rouille.

95 à 135 cm : C_1 (GA 13.003) : Argile compacte brun rouille.

135 et au-dessous : C_2 (GA 13.004) : Argile brun rouille et particules de calcaire graveleux jaunâtre.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES				
	G	F	L	A	T	A		M	IM	I	K	Ch
A_p	6,6	9,8	39,4	39,5	1,2	-	6,9	25	-	55	20	T
B	4,7	7,3	25,5	59,5	1,2	-	7,1	35	-	50	15	T
C_1	5,3	7,5	28,7	55,6	0	-	6,9	40	-	50	10	T
C_2	CALCAIRE						7,7	30	10	50	10	T

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_p	0,77	16,7	0,24
B	0,48	16,7	0,30
C_1	0,54	17,7	0,32

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

L'horizon superficiel montre un appauvrissement en argile qui témoigne de phénomènes de lessivage. L'horizon d'accumulation B se différencie cependant peu de l'horizon C_1. Les pH sont régulièrement voisins de la neutralité bien que la décarbonatation du profil soit pratiquement complète. Cependant le complexe absorbant très riche en Ca^{++} reste caractéristique des sols de type brun calcaire.

Remarque :

On peut se demander si le "Calcaire à Astéries" a participé directement à l'édification du sol. L'argile rouge qui recouvre directement le calcaire peut dériver de ce dernier par décalcification ou constituer une formation allochtone. Cette question n'a pu être tranchée par l'examen du contact des deux couches, les prélèvements ayant été faits à la tarière. Quant à l'étude de la fraction sableuse du sol elle n'a révélé aucune trace d'éolisation ; les grains de quartz sont soit de type non usé, soit de type émoussé luisant. Etant donné l'épaisseur du profil, il paraît cependant difficilement concevable que la totalité du sol puisse dériver de la seule décalcification du calcaire.

2° – Minéraux argileux :

Dans les horizons inférieurs (C_1 et C_2), la montmorillonite et l'interstratifié illite-montmorillonite sont les constituants essentiels. De faibles pourcentages de kaolinite sont également présents.

Dans les horizons sus-jacents, ce cortège évolue peu, mais les interstratifiés disparaissent et la montmorillonite voit son abondance diminuer. Les pourcentages relatifs d'illite et de kaolinite augmentent donc légèrement au sommet du profil. Enfin, à tous les niveaux, il existe des traces de chlorite interstratifiée. On observe en effet sur les diffractogrammes "four" un léger épaulement sur la raie à 10 Å.

La cristallinité des minéraux est toujours médiocre : les raies sont peu intenses et très étalées. Le rapport A des illites ne peut pas fournir de renseignements précis sur l'état de dégradation de ces minéraux. D'importants apports d'engrais potassiques ont en effet modifié leurs caractéristiques naturelles.

L'analyse thermopondérale (fig. 33) fait apparaître d'importantes pertes globales de poids : 17 à 19 % suivant les horizons. Des paliers assez accusés séparent les diverses étapes de déshydratations. Celles-ci se produisent principalement aux basses températures ce qui souligne la prépondérance des minéraux à eau interfoliaire (illite "ouverte" et montmorillonite). Toutefois la présence de kaolinite se marque nettement par un crochet aux environs de 500° C. Cette température, relativement basse pour le départ des hydroxyles de ce minéral, indique un état de cristallisation assez médiocre.

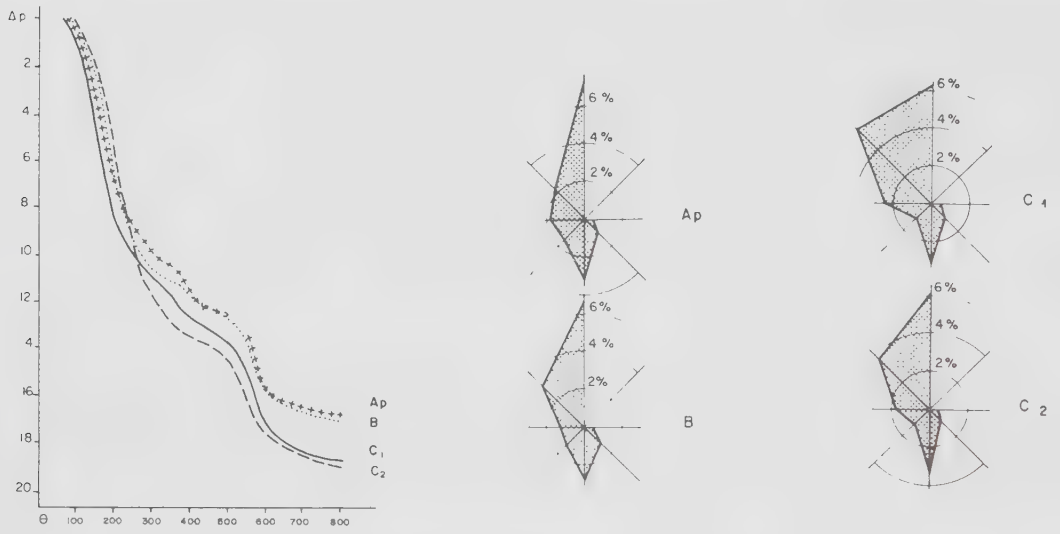


Fig 33. PUJOLS (Gde) ÉTUDE THERMOGRAVIMÉTRIQUE DES PHASES ARGILEUSES.

Enfin, l'horizon C_1 a fourni entre 200 et 300° C une importante perte de poids qui pourrait être attribuée en partie à la déshydratation des hydroxydes de fer (goethite) colorant cet horizon.

Remarque :

Les phases argileuses du calcaire et du sol apparaissent donc très comparables, tant par l'analyse diffractométrique que par l'analyse thermopondérale. Ces méthodes ne fournissent donc aucun argument susceptible de confirmer la présence d'éléments allochtones.

11 – SAINT-ESTEPHE (Gironde). Sol sur marnes oligocènes
Sol brun calcaire

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 353,20
y = 331,75
z = + 30

CARACTERES GENERAUX :

Sol en friche, anciennement planté en vigne, sur marnes sannoisiennes.

Les prélèvements ont été effectués au lieu dit "LAUJAC", sur le méplat d'une butte couronnée de "Calcaire à Astéries" d'âge stampien. Un léger poudrage éolien ainsi que des lambeaux de la terrasse à graviers se remarquent au sommet de la butte, à quelques centaines de mètres du prélèvement.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 30 cm : A (GA 13.112) : Limon argilo-sableux gris. Quelques graviers.

30 à 45 cm : B (GA 13.113) : Argile sableuse gris-brun à passées rouille. Quelques graviers.

45 à 95 cm : B(C) (GA 13.114) : Argile sableuse bistre rouille. Quelques graviers.

95 cm à 2 m : C (GA 13.116) : Marne verte plastique et passées de marnes blanches. Quelques nodules calcaires.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K	Ch
A	46,8	12,3	9,4	26,8	0,8	-	7	-	10	60	30	-
B	41	9,0	8,4	35,6	1,7	-	7,2	T	15	55	30	T
B(C)	37,7	10,3	8,6	39,3	0,8	-	7,3	10	10	50	30	T
C	23,2	7,2	13,7	51,5	14	7,2	8,2	50	T	25	25	T

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A	0,46	10	0,15
B	0,40	11	0,21
B(C)	0,35	10,8	0,23
C	0,27	S	0,36

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Sol à texture équilibrée bien qu'assez fortement argileuse en profondeur. Dans l'horizon superficiel la proportion d'éléments sableux est plus élevée par suite du lessivage et peut-être de la présence d'apports allochtones quaternaires d'origine fluviatile et éolienne. Les quelques graviers contenus dans les horizons supérieurs témoignent en effet de la participation de la terrasse à l'édification du sol. Quant aux éventuelles influences éoliennes, leur mise en évidence s'avère difficile en raison

de l'éolisation d'une proportion notable des grains de quartz de la marne sannoisienne. Toutefois, la teneur en grains ronds-mats est légèrement plus élevée dans l'horizon superficiel.

Les processus pédogénétiques ont cependant été les facteurs prépondérants de l'édification du sol. La coloration rouille des horizons moyens traduit en effet un état d'évolution assez marqué du profil. Seule la roche-mère présente une teneur notable en calcite. Les autres horizons sont pratiquement décarbonatés. Parallèlement, les pH, basiques à la base, décroissent régulièrement jusqu'au sommet du profil.

L'ensemble de ces caractères et en particulier l'apparition d'un horizon B bien individualisé permettent de rattacher ce sol au groupe des sols bruns calcaires de type assez évolué.

2° - Minéraux argileux :

La montmorillonite représente 50 % de la phase argileuse de la roche-mère. L'illite, de type légèrement ouvert, et la kaolinite, sont présentes dans la proportion de 25 % chacune.

Dans les horizons sus-jacents les pourcentages de montmorillonite diminuent rapidement en même temps que des traces d'interstratifiés illite-montmorillonite apparaissent entre 30 et 45 cm de profondeur. Parallèlement, l'illite devient prépondérante et l'élargissement de sa raie à 10 Å témoigne de l'ouverture progressive de ses feuillets. Quant au rapport A, il passe de 1,3 dans la roche-mère à 2,9 au sommet du profil, ce qui traduit également une dégradation des structures cristallines.

La proportion de kaolinite varie très peu, ce qui confirme bien la faible participation des formations récentes à l'édification de la fraction fine de ce sol, car d'une façon très générale, ces formations s'avèrent toujours riches en kaolinite.

12 - ILLBARITZ (Basses-Pyrénées). Sol sur marnes à poupées (Lutétien)

Sol brun calcaire

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 283,34
y = 136,39
z = + 30

CARACTERES GENERAUX :

Sol de lande installée sur les marnes gris-beige à poupées du Lutétien supérieur. Le profil a été prélevé au sommet d'une carrière ouverte au flanc des coteaux bordant la mer.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 20 cm : A (GA 13.167) : Limon argileux humifère brun-noirâtre. Quelques graviers et cailloux quartzeux. Nombreuses racines de graminées.

20 à 50 cm : B (GA 13.168) : Argile gris-brunâtre. Structure polyédrique.

50 à 80 cm : C (GA 13.169) : Marne gris-beige à poupées calcaires.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		M	M'	I	K
A	16,9	19	18,5	31,7	1	0	6,1	-	45	45	10
B	2,8	13,3	21,8	56,1	1,5	0	6,8	60	-	35	5
C	1,1	9,1	40	46,9	44	27	7,8	70	-	25	T

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A	0,53	7,3	3,7
B	0,37	18,2	3,2
C	0,20	S	0,97

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

L'ensemble du sol présente une texture assez argileuse. Seul l'horizon superficiel contient quelques graviers hérités des formations récentes locales.

L'individualisation de l'horizon d'accumulation est particulièrement nette : enrichissement important en argile, coloration plus rouille, structure polyédrique.

Les carbonates, très abondants dans la roche-mère, disparaissent presque totalement dans les horizons superficiels. Les pH décroissent régulièrement de la base au sommet du profil.

L'ensemble de ces caractères sont voisins de ceux d'un sol brun calcaire évoluant vers un type brun lessivé.

2° – Minéraux argileux :

Dans la roche-mère la montmorillonite de type 15 Å représente 70 % de la phase argileuse (fig. 12). 25 % d'illite et des traces de kaolinite lui sont associés. Dans l'horizon B ce cortège évolue peu mais les pourcentages d'illite augmentent légèrement et une faible dissymétrie de la raie de la montmorillonite vers les grands angles traduit la présence de feuillets de montmorillonite 12 Å. Celle-ci devient la seule représentante du groupe des minéraux gonflants au sommet du profil (fig. 13). Ses pourcentages y diminuent notablement, alors que ceux d'illite et de kaolinite atteignent respectivement 45 % et 10 %.

De bas en haut du profil, le rapport A des illites passe successivement de 1 à 1,4 puis 2,3. Cette augmentation traduit l'état de dégradation croissante de ces minéraux.

Remarque :

La présence de montmorillonite de type 12 Å se marque à l'analyse thermogravimétrique par des pertes d'eau relativement peu importantes à basses températures (voir 1ère partie, chap. II).

Ces montmorillonites 12 Å semblent résulter de la substitution du Ca^{++} des montmorillonites normales de la roche-mère par du sodium apporté par les eaux de pluies chargées en sel en raison de la proximité de la mer. L'étude du complexe absorbant montre en effet des teneurs en Na^{+} très importantes dans les horizons superficiels.

13 - MONTUSSAN (Gironde). Sol sur "Molasse du Fronsadais" (Oligocène)

Sol brun calcaire

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 391,95
y = 291.58
z = + 23,50

CARACTERES GENERAUX :

Sol du vignoble de l'Entre-Deux-Mers développé sur la formation dite de la "Molasse du Fronsadais" d'âge oligocène inférieur. Le prélèvement a été effectué en zone sensiblement horizontale.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_p (GA 22.720) : Limon bistre. Quelques cailloux calcaires de petite taille.

10 à 30 cm : $A_p(B)$ (GA 22.721) : Limon argileux bistre plus compact. Quelques petits nodules calcaires.

30 à 55 cm : B (GA 22.722) : Limon argilo-sableux bistre-rouille. Nombreuses paillettes de micas. Quelques nodules calcaires.

55 à 150 cm : C (GA 22.723) : Molasse sableuse gris-vert à passées marneuses blanchâtres. Texture limoneuse fine.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K
A_p	35,2	17,1	11,2	27,8	5,8	-	7,9	25	T	60	15
$A_p(B)$	31,4	18,5	12	32,1	3,6	T	7,9	35	T	50	15
B	43,7	13,5	7,9	30,6	2,9	1,2	8,2	40	-	45	15
C	34,3	53	4	6,3	33	1,5	8,5	40	-	40	20

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_p	0,59	16,75	0,27
$A_p(B)$	0,23	25	0,24
B	0,32	20	0,19
C	0,10	S	0,18

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

Sol à texture limoneuse bien que la teneur en argile des horizons supérieurs soit élevée.

Tous les horizons contiennent de petites quantités de carbonates hérités de la roche-mère très calcaire. Les pH sont uniformément alcalins. Ces caractères sont ceux des rendzines. Toutefois, la coloration rouille de l'horizon 30 à 65 cm est un indice de phénomènes d'accumulation permettant de classer ce sol parmi les sols bruns calcaires.

Le complexe absorbant est évidemment saturé en Ca^{++} et la teneur en K^+ est très élevée dans les horizons supérieurs.

2° - Minéraux argileux :

La montmorillonite et l'illite constituent l'essentiel de la phase argileuse de la roche-mère, cependant que la kaolinite est présente dans la proportion de 20 % environ.

Vers le sommet du profil l'abondance de la montmorillonite diminue progressivement et l'élargissement de ses raies sur les diagrammes traduit une altération de sa cristallinité. Dans l'horizon superficiel la montmorillonite et son interstratifié représentent encore cependant 25 % de la phase argileuse.

Les proportions d'illite augmentent de bas en haut du profil en même temps que le rapport A passe de 1 à 1,5.

La kaolinite ne subit que peu de fluctuations.

14 - LALANDE DE FRONSAC (Gironde).
Sol sur Molasse argileuse du Fronsadais (Oligocène)

Sol brun calcaire

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 285,77
y = 301,47
z = + 38

CARACTERES GENERAUX :

Sol du vignoble de l'Entre-Deux-Mers développé sur "Molasse du Fronsadais" d'âge oligocène inférieur. Le prélèvement a été effectué dans une zone rigoureusement plane. Localement, la molasse est fréquemment masquée par une formation superficielle de limons éoliens.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 30 cm : A (GA 22.724) : Limon gris-bistre.

30 cm à 80 cm : B (GA 22.725) : Limon argileux bistre et rouille à passées de "grenaille" ferrugineuse brun-noirâtre.

80 cm à 2 m : C (GA 22.726) : Molasse verdâtre micacée à passées rouille. Texture limono-argileuse.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A	T	A		M	M'	IM	I	K
A	43,8	16,3	17,6	16,9	2,9	0	7,9	-	-	20	55	25
B	36,3	15,9	11,8	32	0,7	0	8,0	20		T	55	25
C	23,8	28,9	8,4	33,6	0,7	0	7,8	25	-	T	55	20

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A	0,275	18,5	0,19
B	0,295	11,75	0,21
C	0,315	10,0	0,32

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Dans son ensemble, le sol présente une texture limoneuse à limono-argileuse. En surface, la teneur en éléments sableux est plus élevée par suite de phénomènes de lessivage. En outre, la présence de quelques grains de quartz éolisés dans la fraction détritique de l'horizon superficiel, laisse supposer que des apports éoliens relativement récents ont pu recouvrir un ancien sol dont l'évolution était sensiblement différente de l'évolution actuelle. L'abondance des particules ferrugineuses dans l'horizon moyen ne semble pas en effet compatible avec le contexte génétique actuel qui est celui d'un sol brun calcaire : pH basiques, traces de carbonates, complexe absorbant très riche en calcium.

2° – Minéraux argileux :

L'illite de type légèrement ouvert est le minéral essentiel de la phase argileuse. La kaolinite et la montmorillonite sont présentes dans la proportion de 20 à 25 % chacune.

L'évolution verticale de ce cortège est très réduite et ne concerne que la montmorillonite. Celle-ci est du type 15 Å dans la roche-mère. Elle évolue vers un type 12 Å dans l'horizon moyen. Au sommet du profil elle n'est plus représentée que par son interstratifié illite-montmorillonite.

CONCLUSIONS

Les traits généraux suivants peuvent donc être dégagés de l'étude des minéraux argileux des sols calcimorphes :

I. – L'ILLITE

L'illite est à la fois le minéral le plus abondant et le plus fréquent. Sur les 14 profils analysés, elle est en effet 10 fois dominante (profils n°s 1 – 3 – 5 – 6 – 7 – 8 – 10 – 11 – 13 – 14) et vient une fois à égalité avec la montmorillonite (profil n° 12). Ses pourcentages dans les sols varient le plus souvent entre 50 et 60 % mais peuvent parfois atteindre 80 %.

D'une façon générale, son abondance relative augmente de la base au sommet des profils. Il s'ensuit qu'elle est plus souvent dominante dans les sols (10 fois) que dans les roches-mères (7 fois). En outre, dans tous les profils où elle n'est que faiblement abondante, ce n'est pratiquement que dans l'horizon superficiel qu'elle apparaît en quantité notable (profils n°s 2 – 4 – 9).

L'évolution qualitative de ce minéral dans les différents horizons du sol est par contre assez réduite. De la base au sommet des profils on observe seulement, dans les sols bruns et les rendzines brunifiées, une légère décroissance de sa cristallinité (profils n°s 5 – 7 – 8 – 10 – 11 – 14). Quant au rapport $\frac{A}{}$ il ne subit très souvent que des variations de faible amplitude (profils n°s 3 – 4 – 5 – 6 – 13). Pour d'autres profils, au contraire, des accroissements assez importants peuvent être relevés. Ils correspondent toujours aux sols les plus évolués de la série, les sols bruns calcaires :

Profils n°s	$\frac{A}{}$ Horizon A	$\frac{A}{}$ Horizon C
12	2,3	1
11	2,9	1,3
7	2,9	2,2
8	2,5	1,25

II. – LA MONTMORILLONITE

Elle est après l'illite le minéral argileux le plus fréquemment dominant dans les sols calcimorphes : 4 profils sur 14 (n°s 2 – 4 – 9 – 12). Elle est particulièrement abondante dans les rendzines et les sols bruns sur calcaire crétacé où ses pourcentages peuvent dépasser 80 % (profil n° 2 par exemple).

De la base au sommet des sols son abondance est toujours décroissante et cette évolution est plus importante dans les sols bruns que dans les rendzines où de forts pourcentages de montmorillonite peuvent persister dans l'horizon superficiel (profils n°s 2 – 3 – 4).

Du point de vue qualitatif l'évolution verticale dans le profil est assez importante. Elle se traduit dans la plupart des cas par une baisse sensible de la cristallinité. Dans d'autres cas, il y a passage d'un type 15 Å dans la roche-mère à des feuillets de type 12 Å dans l'horizon superficiel (profils n°s 12 – 14) ou à des édifices interstratifiés illite-montmorillonite (profils n°s 4 – 5 – 11 – 14).

III.- LA KAOLINITE

Bien que toujours présente dans tous les sols calcimorphes analysés, la kaolinite n'est qu'un constituant accessoire des phases argileuses. Ses pourcentages ne dépassent jamais 30 %. D'autre part son évolution dans les différents horizons des profils est toujours très réduite tant au point de vue quantitatif que qualitatif. On observe seulement une légère augmentation des teneurs dans l'horizon superficiel de quelques sols (profils n^{os} 1 - 5 - 10 - 12).

IV.- AUTRES CONSTITUANTS ARGILEUX

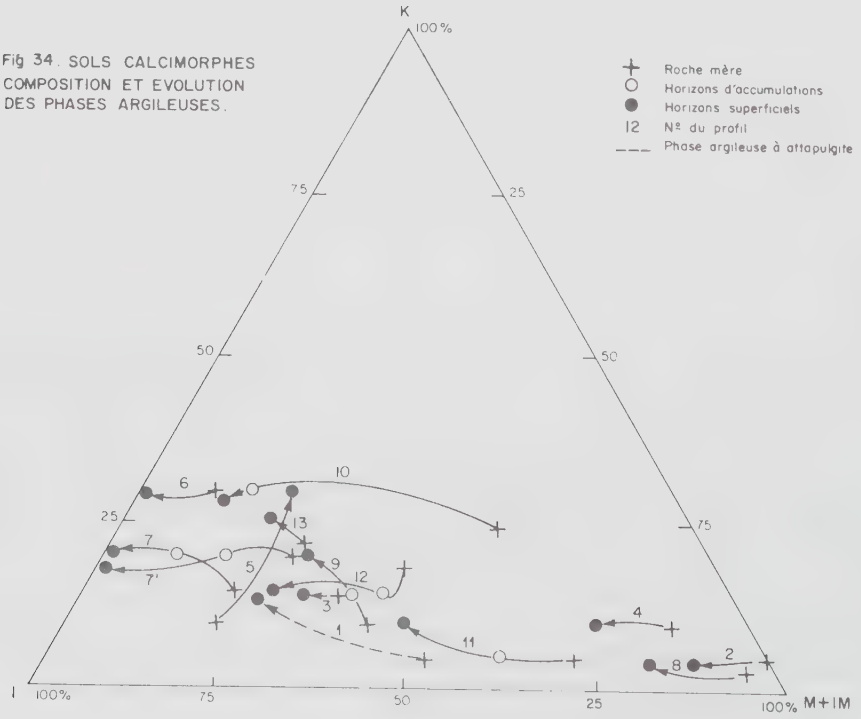
L'ATTAPULGITE a été rencontrée en quantité notable dans la rendzine sur calcaire lacustre de PLASSAC (profil n° 1). Son abondance y est nettement plus faible que dans la roche-mère.

LA CHLORITE n'est présente qu'à l'état de traces généralement cantonnées dans l'horizon superficiel de certains profils (n^{os} 3 - 7 - 8 - 11).

LES EDIFICES INTERSTRATIFIES rencontrés sont tous de type illite-montmorillonite. Ils sont assez fréquents mais peu abondants. Seuls les sols des profils n^{os} 4 - 5 et 14 en contiennent une proportion relativement élevée (20 à 30 %). Leurs variations quantitatives verticales sont irrégulières: quand ils sont présents dans la roche-mère (profils n° 7 - 8 et 10) ils subsistent rarement dans l'horizon superficiel. Au contraire, ils peuvent apparaître dans des sols sur roche-mère n'en contenant pas (profils n^{os} 4 - 5 - 11 - 14).

En résumé, les minéraux argileux cardinaux des sols calcimorphes nord-aquitains sont principalement l'illite et la montmorillonite. L'évolution pédologique de ces minéraux est assez réduite et souvent la phase argileuse de ces sols reproduit assez fidèlement celle des roches-mères. Une légère diminution des pourcentages relatifs de montmorillonite et une augmentation corrélative de ceux d'illite s'observent seulement.

Fig 34. SOLS CALCIMORPHES
COMPOSITION ET EVOLUTION
DES PHASES ARGILEUSES.



Afin de schématiser cette évolution, la composition minéralogique des différents horizons a été portée sur un diagramme triangulaire dont chacun des sommets représente 100 % des trois principaux minéraux argileux (fig. 34) : illite ; montmorillonite + illite-montmorillonite ; kaolinite. Une flèche joint les points correspondants aux divers horizons d'un même profil et matérialise l'évolution subie par cette phase argileuse.

Il apparaît alors nettement que cette évolution se traduit toujours par une diminution des teneurs en montmorillonite de l'horizon C à l'horizon A (déplacement des points vers la gauche du diagramme) et une augmentation corrélative des pourcentages d'illite.

Au contraire l'absence quasi générale de déplacement des points dans le sens vertical montre que l'évolution de la kaolinite est au contraire très restreinte.

Chapitre III

LES SOLS ÉVOLUÉS A MULL

Ces sols, typiquement colorés en brun par les oxydes de fer, sont caractérisés par un profil de type A B C entièrement décarbonaté. L'humus généralement peu abondant est un mull à décomposition rapide.

Suivant l'importance du lessivage des argiles et des oxydes de fer, deux groupes peuvent être distingués :

- Les sols bruns qui constituent les termes les moins évolués de la série.
- Les sols lessivés qui présentent des caractères d'évolution beaucoup plus accusés.

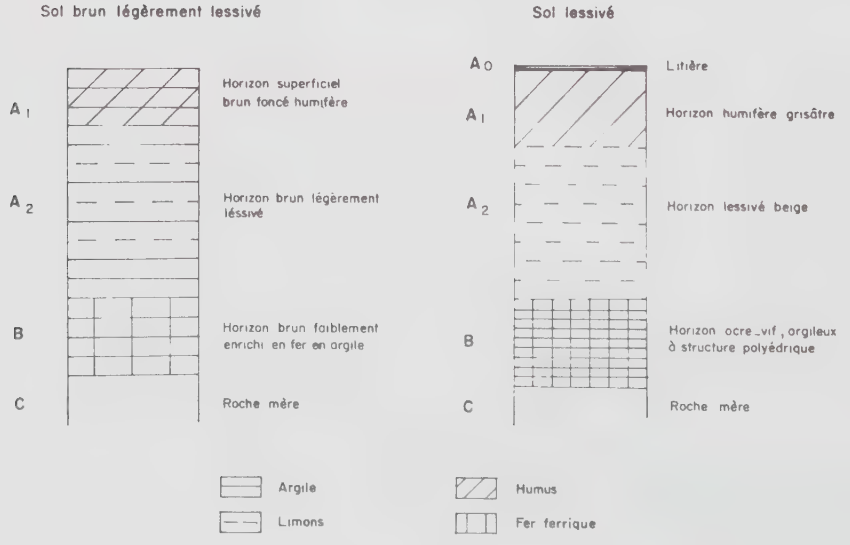
A. – LES SOLS BRUNS

I. – DESCRIPTION DU PROFIL TYPE : SOL BRUN LEGEREMENT LESSIVE

Il présente les horizons suivants (fig. 35) :

A_0 : absent ou très réduit.

Fig 35 SOLS ÉVOLUÉS A MULL



A_1 : horizon peu épais de couleur brun foncé.

A_2 : horizon de couleur brune.

B : horizon de couleur brune ; peu différencié de A_2 ; très légèrement enrichi en fer et en argile ; présente parfois une structure polyédrique.

II. – PRINCIPAUX TYPES

Suivant l'intensité de l'éluviation, les horizons A_2 et B sont plus ou moins tranchés. Sur cette base on peut alors distinguer les sous-groupes suivants :

- Le sol brun non lessivé : à profil uniforme de type A(B)C.
- Le sol brun légèrement lessivé : décrit ci-dessus.
- Le sol brun lessivé : à horizon B bien individualisé et de couleur ocre.

III. – ROCHES-MERES CARACTERISTIQUES

Les sols bruns se forment préférentiellement sur les roches-mères s'opposant au lessivage, soit par imperméabilité (argiles, terra-fusca), soit par leur richesse en calcium (basalte par exemple).

B. – SOLS LESSIVES

Ils ne se différencient des sols bruns que par un lessivage plus poussé du fer et de l'argile.

I. – DESCRIPTION DU PROFIL TYPE

Les sols lessivés sont caractérisés par les horizons suivants :

A_0 : peu épais. Humus de type acide.

A_1 : horizon humifère grisâtre assez bien développé.

A_2 : horizon beige plus ou moins délavé et appauvri en argile.

B : horizon ocre vif, argileux à structure polyédrique.

Bien que le pH du sol soit en général faible (4 à 5) l'absence de matière organique en A_2 et en B prouve que la minéralisation de celle-ci reste rapide.

II. – ROCHES-MERES CARACTERISTIQUES

Ces sols apparaissent en général sur les formations perméables, pauvres en calcium et bien drainées : sables argileux, limons, graves argileuses, etc.

15 – TEUILLAC (Gironde). Sol sur argiles oligocènes
Sol brun légèrement lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 372,17
y = 313,62
z = + 59

CARACTERES GENERAUX :

Sol en friche anciennement planté en vigne. Le profil a été prélevé au bas d'une faible pente, près du fond d'une vallée peu accusée. La roche-mère est constituée par une argile sableuse d'âge sannoisien.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 40 cm : A_1A_2 (GA 22.727) : Limon gris-bistre ayant été remanié par les cultures.

40 à 80 cm : B (GA 22.728) : Limon argileux bistre à brun. Quelques graviers fins. Nombreuses racines de vigne.

80 à 120 cm : C (GA 22.729) : Argile très compacte grise à passées bistre. Quelques graviers fins.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A			M	IM	I	K	Ch
A	30,2	22,1	26,9	17,9	-	6,1	-	20	55	25	T
B	25,8	18,5	23,5	29,8	-	6,2	-	20	50	30	T
C	13,6	9,4	16,7	59,2	-	6,3	15	T	50	30	-

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Les horizons superficiels sont très appauvris en éléments argileux, ce qui semble être l'indice d'un lessivage assez poussé. En raison de la position topographique du profil, il faut toutefois tenir compte du fait que des apports colluviaux ont pu enrichir les horizons de surface en fraction sableuse. Cependant, la coloration brune de l'horizon B (40 – 80 cm) est un indice certain de phénomènes d'accumulation.

Les carbonates font totalement défaut et les pH sont toujours légèrement acides.

L'ensemble de ces caractères apparente ce profil à celui des sols bruns légèrement lessivés.

2° – Minéraux argileux :

L'illite, de cristallinité assez médiocre, est toujours le minéral dominant. Au cours du traitement au glycol elle présente une légère ouverture des feuillets. Le rapport A passe de 1,6 dans la roche-mère à 2,2 dans l'horizon superficiel.

A la base du profil l'illite est associée à de faibles quantités de montmorillonite mal cristal-

lisée. Au-dessus, la montmorillonite disparaît et elle est relayée par son interstratifié illite-montmorillonite. Dans les horizons A et B on note en outre la présence de quelques feuillets de type chlorite interstratifiée donnant un très faible épaulement sur la raie à 10 Å du diagramme "four".

Enfin, la kaolinite est toujours présente en quantités sensiblement constantes et ne semble subir aucune évolution qualitative.

16 – LA BREDE (Gironde). Sol sur alluvions sableuses récentes
Sol alluvial évoluant vers un sol de type brun lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 372,45
y = 268,15
z = + 15 environ.

CARACTERES GENERAUX :

Sol de prairie sur alluvions récentes. Celles-ci sont constituées de sables déposés par le ruisseau du "SAUCATS" qui draine localement de vastes étendues de "Sable des Landes" reposant lui-même sur des formations calcaires et marneuses d'âge miocène.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 40 cm : A (GA 22.730) : Limon humifère noirâtre.

40 cm à 125 cm : B (GA 22.731) : Limon fin roux à rouille, légèrement plus argileux vers le sommet.

125 cm à 2 m : C_1 (GA 22.732) : Limon sableux blanc-jaunâtre.

2 m et en dessous : C_2 (GA 22.733) : Sable blanc. Niveau de la nappe au moment du prélèvement : 2 m.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			M+M'	IM	I	K
A	43,4	25,6	8,1	18,9	-	6,8	40	T	30	25
B	29,5	56,0	4,2	9,3	-	7	50	-	30	20
C_1	50	45,1	1,4	3,1	-	7,2	50	-	30	20
C_2					-	7,3	50	-	30	20

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A	0,145	10,3	0,47
B	0,140	4,06	0,54
C_1	0,075	1,4	0,38

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

Sol très riche en sable, mais présentant toutefois une texture assez bien équilibrée. La teneur en argile croît de la base au sommet du profil. Ces variations sont caractéristiques d'un sol alluvial et résultent davantage de l'hétérogénéité des matériaux apportés que des processus de pédogénèse.

Une évolution de type sol brun légèrement lessivé se dessine cependant. Une amorce de phénomènes d'accumulation apparaît en effet au sommet de l'horizon B (40 - 125 cm) qui présente de ce fait une coloration plus rouille.

Les pH, voisins de la neutralité, sont favorables à une bonne minéralisation de la matière organique. Il n'apparaît en effet aucun horizon A_0 non décomposé et l'horizon A_1 assez épais contient un humus doux de type mull. Malgré la pauvreté générale en bases échangeables, le complexe absorbant semble pratiquement saturé, comme en témoignent les valeurs relativement élevées des pH. Ceci paraît en relation avec la faible teneur en colloïdes, en particulier dans les horizons inférieurs.

Au moment du prélèvement, le niveau de la nappe se situait à 2 m environ. Cependant, en raison de la perméabilité des sédiments et de l'efficacité du drainage, on ne relève aucune trace de gleyification et l'aération du sol est toujours bonne.

2° - Minéraux argileux :

Dans tous les horizons du profil la montmorillonite reste largement dominante sur de moindres proportions d'illite et de kaolinite (voir remarque 1).

Les minéraux montmorillonitiques sont surtout représentés par les montmorillonites de type 15 Å. Cependant les feuillets à 12 Å (remarque 2) sont fréquents et se traduisent sur les diagrammes "normaux" par un épaulement important sur la raie à 15 Å.

L'évolution verticale des cortèges argileux est assez limitée. Dans les horizons supérieurs, la cristallinité des minéraux décroît nettement (diminution d'intensité des raies, et élargissement). En outre des traces d'interstratifiés illite-montmorillonite font leur apparition au sommet du profil.

Le rapport $\frac{A}{}$ subit d'importantes fluctuations d'un niveau à l'autre. Il atteint 3,2 dans l'horizon B. En raison de l'abondance générale des minéraux gonflants l'évolution de ce rapport ne peut cependant pas être considérée ici comme particulièrement significative.

Remarques :

1. - Ce cortège différencie ces alluvions du "Sable des Landes" dont la phase argileuse présente toujours une composition totalement différente. Par contre, la montmorillonite est le constituant argileux cardinal des terrains miocènes qui affleurent en amont. La participation de ces derniers à

l'alluvionnement apparaît donc avec netteté dans la fraction fine, alors qu'elle est macroscopiquement masquée par l'important "squelette" sableux hérité du "Sable des Landes".

2.– Comme cela se produit régulièrement pour les montmorillonites de type 12 Å, la saturation en Ca^{++} de la phase argileuse de ce profil conduit à une régularisation à 15 Å des feuillets de montmorillonite.

Il est alors apparu intéressant d'étudier la nature des bases échangeables liées au complexe absorbant. Le calcium reste toujours le cation dominant. Par contre, il est relativement peu abondant dans les horizons inférieurs (C et B) où l'on relève en outre des teneurs en sodium assez élevées. L'état des montmorillonites paraît donc être lié à un remplacement partiel du calcium par le sodium (cf. 1ère partie – chap. II).

17.ANGLET (Basses-Pyrénées). Sol sur ophite
Sol brun légèrement lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 288,90
y = 137,40
z = + 75

CARACTERES GENERAUX :

Ce profil a été échantillonné au sommet d'une carrière ouverte dans un massif ophitique des environs d'ANGLET (Basses-Pyrénées). Sous l'argile de surface l'ophite présente, sur une forte épaisseur, son faciès d'altération caractéristique en "boules". Le prélèvement a été effectué dans une aire sensiblement plane.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 20 cm : A (GA 13.162) : Argile brune.

20 à 80 cm : B (GA 13.163) : Argile rougeâtre.

80 à 120 cm : (B)C (GA 13.166) : Argile sableuse rougeâtre enrobant de très nombreuses boules d'ophite altérée et tachetée de rouille.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES					
	SG	SF	L	A			M	V	CgVg	I	Kh	Talc
A	12,9	19,1	5,1	51,9	-	5,45		+	++	T	++	T
B	12,2	24,6	3,3	51,7	-	5,70		+	+	T	+++	T
(B)C	12,2	38,8	3,8	34,2	-	6,35	++	?	+	+	++	T

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Sol à texture très argileuse de teinte régulièrement brune. L'horizon B est difficilement discernable sur le terrain et l'analyse granulométrique n'y révèle pas d'enrichissement en argile. Ces caractères sont ceux d'un sol brun peu ou pas lessivé. Les pH assez bas sont voisins de ceux rencontrés dans les sols bruns acides. Cependant la richesse naturelle en calcium de la roche-mère ne permet pas un abaissement suffisant du pH et ce sol présente donc des caractères mixtes.

2° – Minéraux argileux :

La phase argileuse est très complexe. La kaolinite (variété hydratée) est toujours dominante. Elle est associée :

– Dans l'horizon inférieur : à de notables proportions d'illite et de montmorillonite fortement dégradées.

– Dans les horizons moyens et supérieurs : à des quantités plus ou moins importantes de vermiculite et d'interstratifiés chlorite-vermiculite dont les feuillets partiellement désaturés en magnésium présentent un gonflement important lors de la saturation en glycol (voir remarque). L'illite très dégradée n'est plus représentée qu'à l'état de trace.

Des traces de talc apparaissent en outre à tous les niveaux. La présence de ce minéral est fréquente dans les profils d'altération de l'ophite. Elle semble indépendante des conditions pédogénétiques et liée seulement à la nature de la roche-mère (THIBAULT et LATOUCHE, 1966).

Remarques :

Les diffractogrammes des argiles de l'horizon A présentent un "pic" culminant à 14 Å. La base de celui-ci est "empâtée" vers les grands angles par une série de raies (fig. 36a) qui "s'affaissent" à 14 Å après glycolation (fig. 36b).

La saturation en Mg^{++} (fig. 36c) provoque une régularisation du réseau. Il apparaît alors sur les diagrammes une raie très intense et très fine à 14 Å. Celle-ci est totalement inchangée par la glycolation (fig. 36d).

Le chauffage à 550° C des échantillons bruts ou saturés en magnésium provoque les mêmes effets : une raie importante apparaît à 10 Å et celle de 14 Å est détruite ; on remarque en outre la présence d'un épaulement aux environs de 12 Å sur la raie de 10 Å.

Nous avons interprété l'ensemble de ces réactions de la manière suivante :

La raie à 14 Å est due à la vermiculite qui ne gonfle pas au glycol mais passe à 10 Å à la chaleur. Quant au plateau 10-14 Å il représente un interstratifié chlorite-vermiculite dont les feuillets partiellement désaturés en Mg^{++} s'écrasent et présentent dans l'échantillon brut des distances réticulaires élémentaires inférieures à 14 Å. La saturation en Mg^{++} rétablit leurs équidistances normales. Au chauffage, les réactions de cet édifice sont celles d'un interstratifié chlorite-vermiculite ordinaire et les feuillets s'écrasent en position intermédiaire entre 10 et 14 Å.

En raison de la complexité de ces phases argileuses, une estimation quantitative des divers constituants n'a pu être effectuée. Seule leur plus ou moins grande abondance a été relevée.

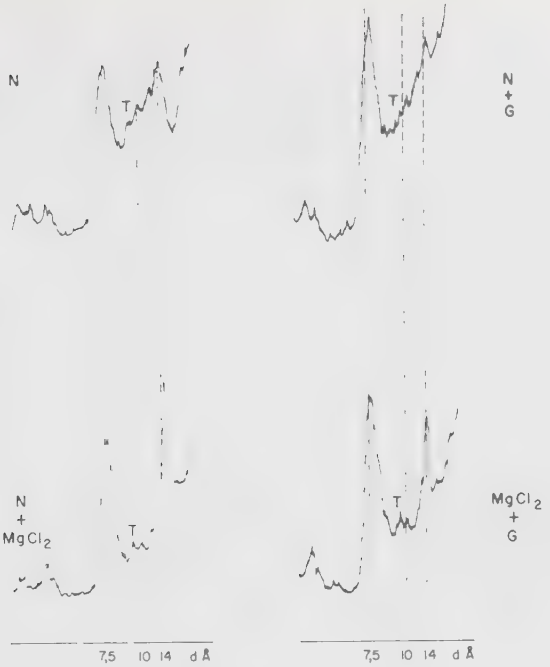


Fig 36 ANGLET (B.P)

INFLUENCE DES IONS Mg^{++} SUR LA RÉGULARITÉ DES RÉSEAUX VERMICULITIQUES

18 – SAINT-SAUVEUR (Dordogne). Sol sur limons quaternaires
Sol brun lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 460,00
y = 286,95
z = + 100 environ

CARACTERES GENERAUX :

Sol de forêt de pins et de chênes des coteaux de la rive droite de la Dordogne au nord de BERGERAC. Le prélèvement a été effectué sur le territoire de la commune de SAINT-SAUVEUR, au lieu dit "Chante-Alouette".

Du point de vue géologique, la région est caractérisée par la présence de la puissante formation des "Sables du Périgord" qui recouvre les calcaires maestrichtiens.

Fréquemment les sables sont masqués par une notable épaisseur de limons bruns qui ne sont pas mentionnés sur la carte géologique au 1/80.000me mais dont la présence a été reconnue par RECHINIAC (1962). Ces limons contiennent d'autre part une abondante industrie permettant de leur attribuer un âge würm ancien (GUICHARD, 1963). Ils constituent la roche-mère du profil examiné ici.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_0A_1 (non échantillonné) : Litière et horizon humifère brun-noirâtre.

10 à 40 cm : A_2 (GA 13.194) : Limon fin bistre foncé. Très nombreuses racines de forte taille.

40 à 70 cm : B (GA 13.195) : Limon argileux marron-rouge. Amorce de structure polyédrique.

70 à 90 cm : C (GA 12.985) : Limon argileux brun.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES						
	SG	SF	L	A			M	I	K	Ch	V	IV	CV
A_2	20,3	15,3	33,2	24,9	-	5,1	-	30	20	-	20	10	20
B	20,9	12,4	27,4	36,4	-	5	-	40	20	10	10	10	10
C	21,6	13,1	28,6	34,4	-	5	T	50	20	10	-	10	10

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Le sol présente dans son ensemble une texture limoneuse légèrement plus argileuse dans l'horizon moyen. Ce dernier s'individualise donc bien, tant par sa couleur brun-rouge et sa structure polyédrique, que par sa composition granulométrique. De même les indices de lessivage de l'horizon supérieur sont également nets.

Ces caractères, ainsi que les pH acides, permettent de classer ce sol parmi les sols bruns lessivés rencontrés fréquemment sur les limons des plateaux de la région atlantique.

2° – Minéraux argileux :

Dans la roche-mère, l'illite, de type ouvert, est dominante sur la chlorite et la kaolinite. De faibles quantités d'interstratifiés vermiculitiques complètent ce cortège.

Les pourcentages d'illite de plus en plus dégradée diminuent de bas en haut du profil et la chlorite vraie disparaît en A_2. En même temps les teneurs en interstratifiés et en vermiculite augmentent. La kaolinite ne varie pas.

Enfin, la valeur du rapport $\frac{A}{}$ des illites est toujours élevée. Voisine de 3 dans les horizons inférieurs, elle atteint 3,5 au sommet du profil.

Remarque :

La composition de la phase argileuse différencie nettement ces limons des "Sables du Périgord" toujours riches en montmorillonite et kaolinite. Par la présence de chlorite plus ou moins interstratifiée, elle semble caractéristique, au contraire, de la plupart des limons quaternaires aquitains dont la mise en place est contemporaine ou postérieure au Würm (ALVINERIE, LATOUCHE et THIBAULT, 1965).

19 - ESPIET (1) (Gironde). Sol sur limons pliocènes

Sol brun lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 394,80
y = 281,30
z = + 40

CARACTERES GENERAUX :

Sol du vignoble de l'Entre-Deux-Mers développé sur les coteaux calcaires de la rive gauche de la Dordogne. Le prélèvement a été effectué dans une parcelle à surface relativement plane. Comme dans la plus grande partie de la région, le calcaire est masqué sous une formation argilo-sableuse et limoneuse qui, sur la carte géologique au 1/80.000me, n'a pas été distinguée de la grave pliocène. Ces matériaux d'origine principalement éolienne peuvent résulter, en partie, de la décalcification du "Calcaire à Astéries" sous-jacent. Ces limons constituent la roche-mère du profil étudié ici.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 20 cm : A_p : Limon très fin beige, remanié par les cultures et enrichi en cailloux calcaires par les amendements.

20 à 70 cm : A_2 : Limon très fin beige. De 40 à 70 cm : présence de concrétions ferrugineuses noirâtres.

70 à 100 cm : B : Limon fin argileux ocre à structure polyédrique.

100 à 150 cm : C : Limon fin argileux brun.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		M	IM	I	K
A_p	5,6	11,5	70,8	9,5	2,5	0,5	7,9	0	T	80	20
A_2	3,1	9,6	71,2	14	0,7	0,5	7,7	T	T	80	20
B	2,2	7,2	59,5	27,5	1	0,9	7,6	T	15	65	20
C	2,6	8,6	58,3	27,5	0,7	0,7	7,3	10	5	60	25

1. Echantillonnage et analyses pédologiques : G. SEGUIN.

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT			
	K^+	Ca^{++}	Na^+	Mg^{++}
A_p	0,46	S	0,16	0,83
A_2	0,25	S	0,15	1,38
B	0,28	S	0,23	1,48
C	0,24	S	0,20	1,98

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Le sol présente dans son ensemble une texture très limoneuse défavorable à une bonne aération du profil. Les concrétions noirâtres de l'horizon 20 – 70 cm indiquent en effet une stagnation temporaire de l'eau (SEGUIN, 1965).

Par lessivage, les horizons supérieurs sont nettement appauvris en argile et la structure polyédrique de l'horizon 70 – 100 cm traduit une accumulation d'argile.

Les pH restent basiques grâce aux apports de "fumier de champignons" qui ont fourni au sol de faibles quantités de calcaire présent à tous les niveaux. Malgré cela, le profil est du type sol brun lessivé.

2° – Minéraux argileux :

L'illite, associée à 20 % environ de kaolinite, est le minéral largement dominant dans tout le profil.

Dans la roche-mère, de faibles quantités de montmorillonite apparaissent également. Ses feuillets présentent une équidistance fondamentale supérieure à 15 Å par suite d'un degré d'hydratation probablement assez élevé. Dans les niveaux sus-jacents, elle est relayée par son interstratifié illite-montmorillonite qui disparaît lui-même dans l'horizon superficiel. L'abondance relative de l'illite s'en trouve alors accrue et atteint 80 % environ. Sur tout le profil, il faut enfin signaler que ce minéral est de type ouvert et que son rapport $\bar{A}$ passe de 1,8 dans la roche-mère à 3 dans l'horizon d'accumulation puis à 2,5 au sommet du profil.

20 – SAINT-SAUVEUR (Gironde). Sol sur substrat complexe

Sol brun lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 352,54
y = 327,50
z = + 18

CARACTERES GENERAUX :

Les échantillons ont été prélevés dans une parcelle récemment aménagée pour la culture de la

vigne et anciennement boisée en pins et acacias. Une fosse a été effectuée à mi-hauteur d'une faible pente. Trois formations géologiques différentes ont pu ainsi être mises en évidence ; ce sont par ordre de superposition :

- Le "Sable des Landes", quaternaire.
- Les formations graveleuses de la terrasse ancienne de la Gironde.
- Le "Calcaire à Astéries" d'âge stampien.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 5 cm : A_0 (non prélevé) : Horizon humifère.

5 à 30 cm : "A_1A_2" (GA 22.734) : Sable graveleux très légèrement argileux beige rosé.

30 à 70 cm : B (GA 22.735) : Argile sableuse bistre (prélèvement vers 50 cm).

70 à 100 cm : C_1 (GA 22.736) : Grave argileuse bistre-rouille.

100 cm : C_2 (non prélevé) : Calcaire.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A			M	IM	I	K	Ch
"A_1A_2"	77,6	13,1	4,7	3,2	-	5,7	-	T	70	30	T
B	38,4	4,7	5,1	51,1	-	4,7	T	30	40	30	-
C_1	54,6	3,7	1,2	39,2	-	7,3	30	-	30	40	-

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

La proportion d'argile dans l'horizon A est très réduite. Les éléments sableux, constitués presque exclusivement de grains ronds-mats, représentent plus de 90 % de la terre fine. Cette forte proportion témoigne de la participation importante du "Sable des Landes" dans les niveaux superficiels. Dans les horizons inférieurs au contraire, l'argile est très abondante et provient à la fois des graves argileuses de la terrasse, du lessivage de celles-ci et de la décalcification du calcaire. Les différentes couches observées ici ne constituent donc pas de véritables horizons pédologiques. En particulier le niveau superficiel ne peut pas être réellement assimilé à l'horizon éluvial des sols lessivés. Cependant, au-dessus de la grave (C_1) un horizon d'accumulation très argileux est apparu par suite du lessivage vertical ou oblique des différentes formations. Il y a donc bien également une authentique évolution pédologique (voir remarque) de type sol brun lessivé.

Bien que non carbonaté, l'horizon C_1 présente un pH de 7,3 en raison de la proximité du calcaire. Par suite du lessivage, les horizons sus-jacents, au contraire, sont beaucoup plus acides.

2° - Minéraux argileux :

La montmorillonite, l'illite et la kaolinite sont présentes en quantités sensiblement égales dans l'horizon C_1. Dans l'horizon d'accumulation, la montmorillonite disparaît et est relayée par son interstratifié (illite-montmorillonite) qui disparaît à son tour en surface. L'illite, dont les pourcentages augmentent de bas en haut du profil, devient alors nettement prédominante. Quant à la kaolinite,

elle ne subit que peu de variations.

La cristallinité des minéraux est moyenne. L'illite en particulier est de type légèrement ouvert dans les horizons B et C. En outre, le rapport A passe successivement de bas en haut du profil de 1,4 à 2,3 puis 2,7.

Il faut signaler enfin que d'importantes quantités de goethite sont liées à la phase argileuse des horizons B et C_1.

Remarque :

En dépit de la diversité des roches-mères ayant participé à l'édification du sol, le profil présente donc une unité d'ensemble que soulignent bien les minéraux argileux. Nous montrerons en effet en conclusion que l'évolution observée ici est parfaitement conforme à celle rencontrée dans la plupart des sols.

Le lessivage oblique semble responsable de cette "homogénéisation" qui n'apparaît qu'à l'examen des constituants les plus fins du sol.

Ces faits nous ont incité à donner ici les caractéristiques de ce profil, bien qu'il ne constitue pas un véritable sol au sens pédologique du terme. Les formations superficielles de ce type sont très fréquentes dans la région médocaine par suite de la diversité et de la faible épaisseur locale de certaines couches géologiques.

21-22 – MOMBRIER (Gironde). Sols sur grave pliocène
Sol brun lessivé. Sol lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 371,95
y = 313,30
z = + 73

CARACTERES GENERAUX :

Sols du vignoble de la région des Côtes-de-Bourg. La roche-mère est constituée par les formations argilo-détritiques rouges habituellement attribuées au Pliocène continental. Les prélèvements ont été effectués au sommet des coteaux, dans une zone sensiblement horizontale.

Deux profils distants d'une vingtaine de mètres ont été observés. L'un (n° 21) est situé au centre d'une zone sensiblement circulaire d'une dizaine de mètres de rayon où la vigne dépérit. L'autre (n° 22), très voisin, est bien représentatif du reste de la parcelle qui, dans l'ensemble, supporte une vigne de belle venue.

A. – PROFIL n° 21

1° – Description du profil (fig. 37) :

0 à 30 cm : A_p (GA 13.066) : Limon sableux gris-bistre. Quelques graviers. Remanié par les cultures.

30 à 50 cm : $A_p(B)$ (GA 13.067) : Limon bistre à passées légèrement plus argileuses rouille. Quelques graviers.

50 à 65 cm : B (GA 13.068) : Limon argileux rougeâtre.

65 à 110 cm : C (GA 13.069) : Grave argileuse rouge.

2° – Résultats d'analyses :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES		
	SG	SF	L	A			V	I	K
A_p	54,6	21,8	9,4	12,6	-	6,4	10	20	70
$A_p(B)$	42,3	22,9	6,4	27	-	6,3	10	20	70
B	26,4	34,5	4,4	32	-	5	T	30	70
C	55,6	14,1	4,3	24,2	-	4,5	-	30	70

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_p	0,14	3,25	0,2
$A_p(B)$	0,14	4,6	0,15
B	0,12	3	0,17
C	0,11	2,1	0,12

B. – PROFIL n° 22

1° – Description du profil (fig. 38) :

0 à 30 cm : A_p (GA 13.072) : Limon graveleux gris-bistre.

30 à 55 cm : $A_p(B)$ (GA 13.073) : Limon argileux à passées plus argileuses bisire et brunes.

55 à 110 cm : C (GA 13.074) : Grave argileuse rouge.

2° – Résultats d'analyses :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES	
	SG	SF	L	A			I	K
A_p	40,6	23,1	15,6	18,4	-	7,7	35	65
$A_p(B)$	28,8	25,2	6,1	37,3	-	7,3	25	75
C	56,5	14,7	2,7	24,3	-	6,7	20	80

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_p	0,17	5,50	0,20
$A_p(B)$	0,15	7,25	0,23
C	0,14	7,25	0,24

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Bien que très riche en éléments sableux hérités de la roche-mère fortement détritique, le sol contient une notable proportion d'argile et présente donc une texture bien équilibrée.

Dans les deux coupes, il existe au-dessus de la roche-mère un niveau d'accumulation argileux. Celui-ci est plus ou moins dispersé sous forme de passées argileuses brunâtres dans le cas du second profil (n° 22).

Dans le premier (n° 21), au contraire, cet horizon, bien localisé, est représenté par une quinzaine de centimètres d'argile rouge, traduisant bien un état de lessivage plus avancé. Ceci est confirmé par les valeurs des pH qui, voisins de la neutralité dans le second profil, sont fortement acides dans les horizons inférieurs de l'autre profil (voir remarque). De même, le complexe absorbant est très pauvre en bases échangeables dans le premier, alors que dans le deuxième les teneurs observées sont moyennes étant donné la nature des argiles et la pauvreté générale en matière organique (voir remarque).

Fig. 37. MOMBRIER (Gde) PROFIL 21

COUPE PÉDOLOGIQUE ET DIFFRACTOGRAMMES (N) DES PHASES ARGILEUSES.

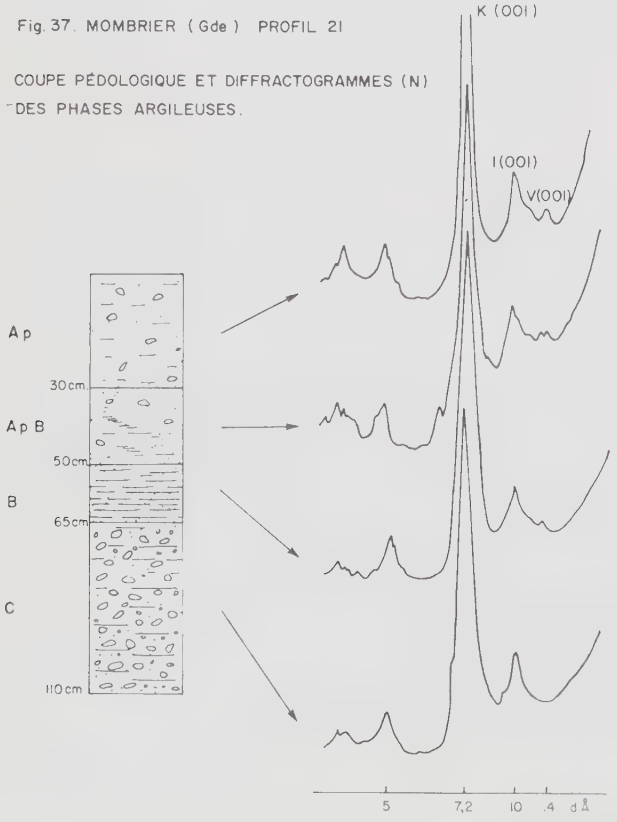
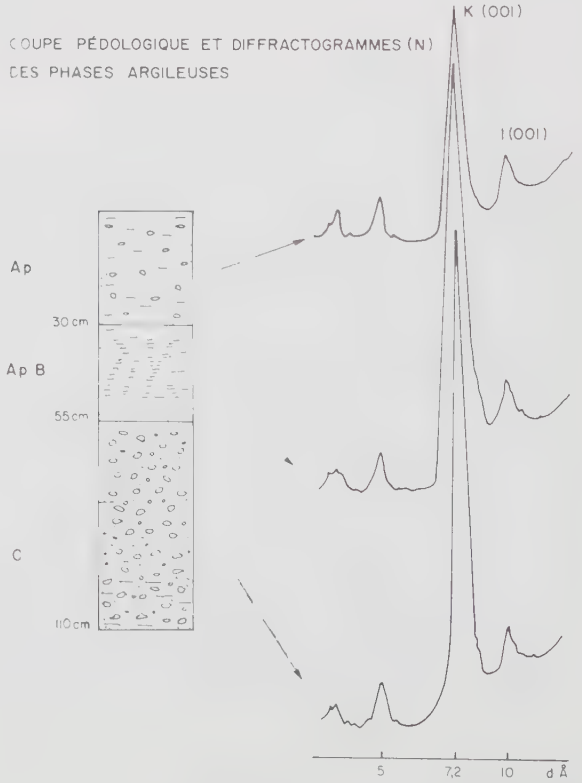


Fig. 38. MOMBRIER (Gde) PROFIL 22

COUPE PÉDOLOGIQUE ET DIFFRACTOGRAMMES (N) DES PHASES ARGILEUSES



Ces deux profils constituent ainsi deux étapes intéressantes du lessivage des sols bruns, dont l'un (n° 21), très évolué, présente les caractères d'un sol lessivé.

2° – Minéraux argileux (fig. 37 à 40) :

Les cortèges argileux des deux profils sont évidemment comparables. La kaolinite est toujours très nettement dominante sur l'illite. Cette association est particulièrement caractéristique des graves argileuses rouges pliocènes constituant la roche-mère.

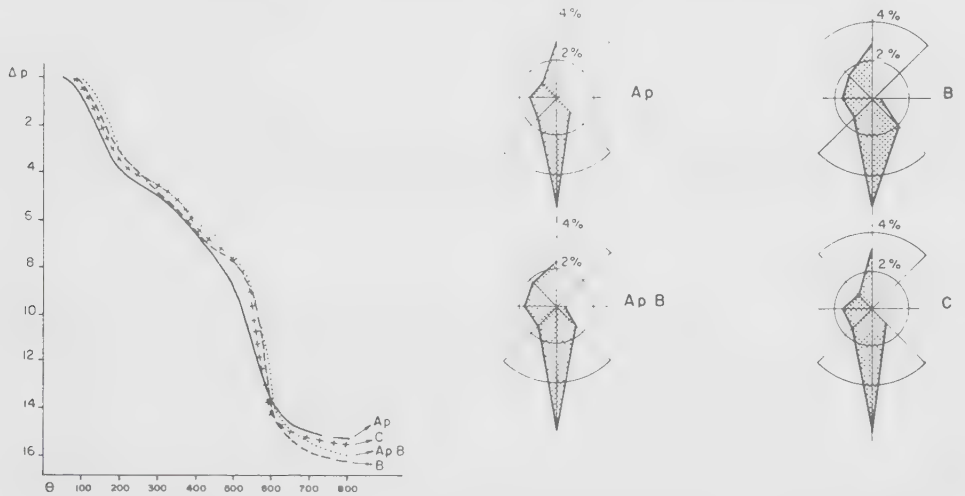


Fig. 39 MOMBRIER (Gde) PROFIL 21 ÉTUDE THERMOGRAVIMÉTRIQUE DES PHASES ARGILEUSES

La cristallinité des minéraux est toujours bonne, en particulier celle de la kaolinite qui donne régulièrement sur les diffractogrammes des raies très aiguës et très symétriques. En outre, les courbes d'analyse thermopondérale (fig. 39 et 40) présentent des paliers de déshydratation toujours bien marqués et les pertes de poids correspondant à la kaolinite apparaissent brusquement à 515° C. Quant à l'illite elle est de type peu ouvert et le rapport A n'atteint des valeurs relativement élevées (2) que dans les horizons B.

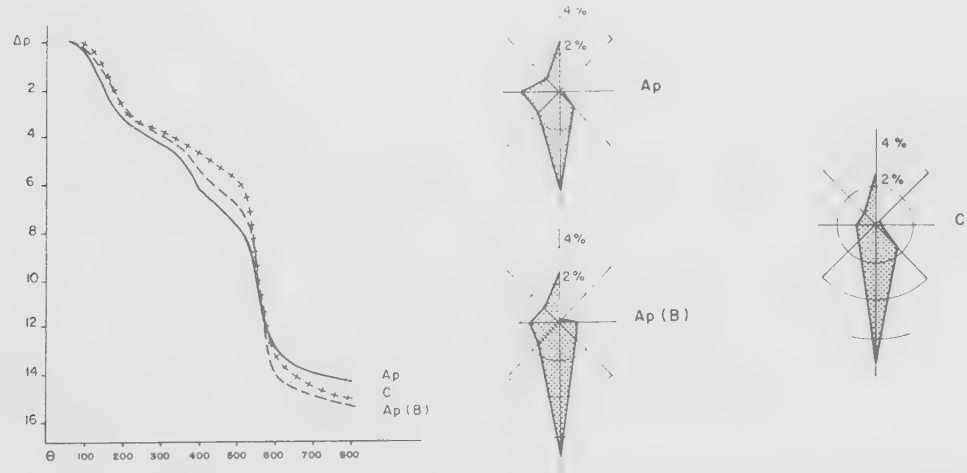


Fig 40 MOMBRIER (Gde) PROFIL 22 ÉTUDE THERMOGRAVIMÉTRIQUE DES PHASES ARGILEUSES

Dans le détail, les cortèges argileux des deux profils offrent cependant des différences :

- Pour le premier, en particulier, les diffractogrammes des horizons supérieurs présentent un faible pic à 14 Å stable au glycol mais s'affaissant à la chaleur et traduisant par conséquent l'existence de quelques feuillets de vermiculite. L'illite voit en même temps sa cristallinité et son abondance diminuer. La kaolinite par contre ne varie pas.

- Dans le second profil au contraire, l'illite ne subit aucune altération et ses pourcentages augmentent légèrement dans l'horizon superficiel. Les proportions relatives de kaolinite s'en trouvent diminuées.

Remarques : Evolution verticale des pH :

Il convient de remarquer que les valeurs les plus faibles des pH se trouvent toujours à la base des profils. C'est là un processus inverse de ce que l'on observe habituellement. Il semble que ce phénomène puisse être lié à plusieurs facteurs :

1.- Nature du complexe absorbant :

Les faibles teneurs en composés organiques et en fraction argileuse, de surcroît principalement kaolinique, donnent à ces sols une capacité totale d'échange très faible. Les effets de l'exportation des éléments fertilisants par les plantes y seront donc très sensibles et le taux de saturation tombera vite très bas dans la zone des racines.

2.- Nature de la végétation :

La culture de la vigne, plante à enracinement profond, provoque un appauvrissement en cations plus important dans les horizons inférieurs qu'en surface.

23 - SAINT-MARTIAL-L'ARTENSET (Dordogne). Sol sur "Sables du Périgord" Sol lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 432,025
y = 299,510
z = + 80 environ

CARACTERES GENERAUX :

Sol sur "Sables du Périgord" d'âge éocène supérieur. Les prélèvements ont été effectués dans un bois de pins, au lieu dit "Le Charpre". Anciennement, cette parcelle, située sur les coteaux de la rive gauche de l'Isle, avait été plantée en vigne.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 30 cm : A_1 (1) (GA 22.737) : Limon sableux gris-beige avec gros galets de quartz. Vers 25 cm se différencie une passée légèrement plus argileuse : A_1 (2) (GA 22.738).

30 à 60 cm : A_2 (GA 22.739) : Limon sableux grossier jaune clair avec quelques passées brunâtres. Très nombreux feldspaths altérés.

60 à 80 cm : B(C) (GA 22.740) : Sable argileux gris verdâtre avec veinules rouge brique. Micas et feldspaths très abondants.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A			M	IM	V	I	K
A_1 (1)	65,8	14,8	10,1	7,0	-	5,6	15	20	10	25	25
A_1 (2)	65,4	10,4	13,1	9,7	-	5,6	40	10	T	25	25
A_2	94,5	2,4	0,6	2,2	-	6,4	50	-	-	30	20
B(C)	67,4	6,0	0,8	23,4	-	5,3	65	-	-	15	20

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

Le sol est très riche en sable hérité de la roche-mère fortement détritique. Le lessivage très accentué se traduit par la présence d'un horizon A_2 très développé et bien caractérisé. Les phénomènes d'accumulation sont cependant moins nets puisqu'il n'apparaît pas d'horizon B bien individualisé. En effet, en raison de l'hétérogénéité de la roche-mère, l'argile s'est accumulée préférentiellement dans les zones les plus perméables, ce qui se traduit par la présence de veines d'argiles brunes dans l'horizon C. Ce sol qui présente en outre une réaction nettement acide doit donc être rattaché au groupe des sols lessivés.

2° - Minéraux argileux :

La phase argileuse de l'horizon C est caractéristique des "Sables du Périgord" : montmorillonite dominante sur de faibles quantités d'illite et de kaolinite. Un épaulement aux environs de 12 Å sur la raie de montmorillonite traduit la présence de quelques feuillets de type montmorillonite 12 Å et témoigne d'une certaine altération des constituants argileux. Des quantités notables de lépidocrocite sont en outre liées à la phase argileuse. Elles sont probablement responsables de la couleur brune des veines d'argile.

Dans les niveaux sus-jacents, la cristallinité et l'abondance de la montmorillonite décroissent régulièrement. En même temps les interstratifiés de type illite-montmorillonite deviennent de plus en plus abondants. En outre, les pourcentages d'illite augmentent légèrement en A_2 ; dans l'horizon superficiel la vermiculite fait son apparition et la cristallinité générale des minéraux est très dégradée. Enfin, la kaolinite est sensiblement constante sur tout le profil.

24 - PESSAC (1) (Gironde). Sol sur colluvions sableuses
Sol lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 364,50
y = 282,70
z = + 35

1. Echantillonnage et analyses pédologiques : G. SEGUIN.

CARACTERES GENERAUX :

Sol du vignoble de la banlieue bordelaise. Dans son ensemble, ce vignoble repose sur des formations graveleuses de la terrasse ancienne (a_1a) qui recouvre des sédiments calcaires et marneux d'âge miocène. Le profil examiné ici repose au contraire sur des sables fins affleurant localement et voisinant avec de vastes étendues de graves.

L'intérêt de cette étude peut donc paraître restreint dans le contexte régional. Toutefois, certaines particularités de la phase argileuse de ce sol nous ont semblé devoir être retenues.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 7 cm : Horizon limoneux gris foncé.

7 à 35 cm : Limon sableux beige, lessivé.

35 à 55 cm : Limon sableux rouille à concrétions noirâtres.

55 à 80 cm : Sable limoneux rouille et gris-bleu très humide.

80 à 90 cm : Limon sableux rouille.

90 cm et au-dessous : Limon fin gris-bleu et rouille faisant transition avec une argile gris-bleu et rouille.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor. cm	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			M	IM	I	K
0 à 7	28,9	14	25,5	21	-	6,3	25	25		50
7 à 35	61,4	19,9	15	8,5	-	6,5	70	10	-	25
35 à 55	69,3	14,1	3	10,5	-	7,3	85	-	-	10
55 à 80	75,5	15,8	0	5	-	7,8	90	-	-	10
80 à 90	73,4	13,8	0	7,5	-	7,6	100	T	T	T
90	22,6	40,6	7	23,5	-	7,5	80	10		10

Hor. cm	COMPLEXE ABSORBANT			
	K^+	Ca^{++}	Na^+	Mg^{++}
0 à 7	0,175	11,375	0,27	1,375
7 à 35	0,05	5	0,19	0,675
35 à 55	0,075	7,6	0,20	0,575
55 à 80	0,037	4,3	0,18	T
80 à 90	0,037	4,425	0,212	0,125
90	0,087	12,125	0,25	0,75

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

Les variations de textures et de couleurs observées le long du profil résultent davantage de l'hétérogénéité de la roche-mère que d'une véritable évolution pédologique. Toutefois, l'horizon 7 - 35 cm présente des indices très nets de lessivage. Ce profil s'apparenterait donc à celui d'un sol lessivé. Il convient cependant de remarquer les valeurs assez élevées du pH ainsi que les teneurs relativement fortes du complexe absorbant en Ca^{++}. Ces particularités seront examinées ci-dessous à la lumière des résultats fournis par l'analyse de la phase argileuse.

2° - Minéraux argileux :

La montmorillonite est cardinale (cf. remarque) dans la majeure partie du profil (90 à 35 cm). Elle donne sur les diagrammes des pics relativement fins, traduisant un assez bon état de cristallisation. Des traces d'illite et d'interstratifiés illite-montmorillonite lui sont associées ainsi que de faibles quantités de kaolinite.

Dans les horizons supérieurs (35 cm au sommet), les pourcentages de montmorillonite diminuent rapidement et la kaolinite devient prépondérante. En outre, l'illite et l'interstratifié illite-montmorillonite apparaissent en proportions notables. Dans l'horizon de surface, qui présente une phase argileuse très dégradée, ces minéraux voient leur teneur atteindre 25 % environ.

Remarque :

Une telle abondance en montmorillonite est inconnue en Bordelais dans les formations graveleuses de terrasse ainsi que dans les formations sableuses superficielles. Une phase argileuse de ce type ne se rencontre localement que dans les sédiments d'âge miocène. Il faut donc admettre une participation de ces formations dans l'édification de ce sol. Celles-ci affleurent en effet dans des vallées voisines du lieu du prélèvement. L'étude des minéraux argileux apporte donc ici d'utiles précisions sur les relations d'un sol avec son environnement.

Cette influence des formations miocènes, toujours riches en calcium, explique les valeurs élevées du pH et les fortes teneurs en Ca^{++} assimilable du complexe absorbant.

25 - SAINT-MARTIN-DE-COUX (Chte-Mme). Sol sur "Sables du Périgord" Sol lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 408,97
y = 316,56
z = + 40

CARACTERES GENERAUX :

Sol lessivé au sommet d'une carrière ouverte dans la formation dite des "Sables du Périgord", de la région du Petit Angoumois, sur la rive droite de la Dronne. L'infertilité générale du sol est soulignée dans cette région par la végétation essentiellement constituée de landes et de forêts de pins.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_0 (non prélevé) : Litière et feutrage de racines.

10 à 70 cm : A_1A_2 (GA 13.181) : Limons sableux bistre.

70 à 170 cm : B (GA 13.182) : Sable bistre à veinules irrégulières, plus ou moins obliques, d'argile sableuse rouille.

170 à 200 cm : C_1 (GA 13.183) : Sables gris-verdâtre à graviers. Nodules et passées d'argile grise (C_2 : GA 9.776).

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A			M'	IM	V + CV	I	K
A_1A_2	65,6	16,5	10,2	6,9	-	4,7	-	-	30	45	25
B	73,5	7,5	4,6	13,6	-	4,9	-	T	15	55	30
C_1	51,2	14,3	8,1	15,1	-	4,8	-	15	T	40	45
C_2					-		25	-	-	20	55

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

La roche-mère, hétérogène, est à dominance de sables non-usés très anguleux. La proportion d'argile y est cependant assez élevée et localement, on rencontre quelques passées et galets d'argile. Cette constitution est bien caractéristique de la formation des "Sables du Périgord".

Les horizons supérieurs du profil ont subi un lessivage intense du fer et de l'argile qui se sont accumulés en veines irrégulières dans l'horizon médian. Cette disposition est en liaison, d'une part, avec l'hétérogénéité de la roche-mère et, d'autre part, avec des variations du niveau de la nappe. L'encaissement du lit du ruisseau drainant la zone prospectée montre en effet que celui-ci a subi un abaissement progressif.

Les pH, très acides à tous les niveaux du profil, traduisent un état de désaturation assez avancé du complexe absorbant, ce qui est habituel dans les sols de type lessivé.

2° – Minéraux argileux :

La kaolinite est dominante dans les horizons C_1 et C_2. L'illite et la montmorillonite, de type 12 Å et interstratifiée, complètent le cortège. La présence de ces minéraux gonflants particuliers montre que ces horizons ont subi une dégradation par rapport aux "Sables du Périgord" qui présentent habituellement des phases argileuses à montmorillonite vraie abondante.

Dans les horizons sus-jacents les proportions de kaolinite diminuent considérablement. Dans l'horizon B, les minéraux montmorillonitiques disparaissent et sont relayés par la vermiculite et les interstratifiés chlorite-vermiculite qui représentent 30 % de la phase argileuse au sommet du profil. Quant à l'illite, elle est particulièrement abondante en B ; dans l'horizon superficiel par contre, elle n'est que faiblement représentée.

La cristallinité des minéraux est bonne sauf au sommet du profil où la mauvaise qualité des diagrammes qu'ils ont fournis, traduit un état de dégradation avancé des minéraux.

Remarque :

Les cortèges argileux des horizons supérieurs s'apparentent à ceux rencontrés dans le "Sable des Landes", en particulier par la présence d'interstratifiés de type chlorite-vermiculite. L'examen de la fraction détritique de ces niveaux, à la loupe binoculaire, n'a cependant permis d'y mettre en évidence aucune trace d'éolisation. La fraction la plus fine du sol fournit donc, dans ce domaine, des informations plus précises et il semble qu'il faille tenir compte dans l'interprétation du profil de la présence d'apports allochtones récents.

26 – CANTENAC (Gironde). Sol sur graves de la terrasse moyenne
Sol lessivé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 362,60
y = 307,45
z = + 14

CARACTERES GENERAUX :

Sol du vignoble médocain, développé sur la région externe caillouteuse de la terrasse moyenne (a_1b) de la Gironde. Le profil a été prélevé à mi-hauteur d'une pente très faible.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 cm à 45 cm : A_p (GA 22.741) : Grave maigre gris-brunâtre légèrement humifère, remaniée par les cultures.

45 cm à 70 cm : A_2 (GA 22.742) : Sable grossier ocre clair, peu argileux.

70 cm à 90 cm : B (GA 22.743) : Grave argileuse brun-ocre. Structure polyédrique.

115 cm et en dessous : C (GA 22.744) : Grave brun-ocre, légèrement argileuse.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			M+IM	V	I	K
A_p	77,3	6,7	4,8	9,2	-	4,8	T	T	45	50
A_2	66,2	10,2	7,6	10,4	-	5,5	35	-	40	25
B	55,9	11,1	13,5	19,5	-	5,5	40	-	40	20
C	59	11,4	12,6	17,1	-	5	35	-	40	25

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_p	0,105	0,5	0,08
B	0,18	1	0,125
C	0,20	2,05	0,15

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

L'ensemble du profil est très riche en éléments grossiers, hérités de la roche-mère très graveleuse. La proportion d'argile est cependant assez élevée pour que le contraste entre les horizons lessivés (A_p et A_2) et l'horizon d'accumulation soit bien visible, à la fois sur le terrain et sur les résultats d'analyses de laboratoire.

Les carbonates sont toujours absents et les pH régulièrement acides sont voisins de 5. Les teneurs très faibles en bases échangeables sont caractéristiques d'un sol de type lessivé.

2° – Minéraux argileux :

Leur nature varie peu de la roche-mère à l'horizon A_2 : les minéraux gonflants (montmorillonite et ses interstratifiés) associés en quantité égale à l'illite représentent 75 % environ du cortège. La kaolinite est présente dans la proportion de 25 % environ.

L'horizon B, enrichi en argile, a fourni de meilleurs diagrammes et la proportion de minéraux gonflants y est légèrement accrue.

Dans l'horizon superficiel, les minéraux montmorillonitiques disparaissent pratiquement. La proportion d'illite ne varie pas mais sa cristallinité est altérée et le rapport $\frac{A}{}$ atteint 2,25 alors qu'il n'est que de 1,25 dans la roche-mère. La kaolinite devient très abondante et représente 50 % du cortège argileux.

CONCLUSIONS

La nature et le comportement des minéraux argileux dans les sols évolués à mull qui viennent d'être présentés peuvent donc être résumés de la manière suivante :

I. – L'ILLITE

L'illite est encore le minéral le plus fréquemment dominant dans le sol (profils n^{os} 15 – 18 – 19 – 20 – 23 – 25). Toutefois, elle n'y est que faiblement représentée si les roches-mères sont pauvres en illite (profils n^{os} 17 – 21 – 22 – 24).

Ses variations quantitatives dans les profils sont irrégulières et sont fréquemment perturbées par l'hétérogénéité ou la complexité des roches-mères (profils n^{os} 16 – 20 – 24). Par contre, dans les profils bien homogènes, les pourcentages d'illite croissent de la base au sommet (profils n^{os} 15 – 18 – 22 – 23).

Dans le même sens, l'illite voit ses feuillets "s'ouvrir" progressivement et l'élargissement de ses raies sur les diagrammes traduit bien une détérioration de sa cristallinité. En outre, on remarque le plus souvent une augmentation de la valeur du rapport A dans les horizons supérieurs du profil :

Commune	Valeur de A			
	N° Profil	Horizon C	Horizon B	Horizon A
TEUILLAC	15	1,6	1,7	2,2
LA BREDE	16	2	3,2	2
St SAUVEUR (Dgne)	18	2	3,2	2
ESPIET	19	1,8	3	2,15
St SAUVEUR (Gde)	20	1,4	2,3	2,7
MOMBRIER	22	1,3	2	1,45
CANTENAC	26	1,25	1,5	2,1

II. - LA MONTMORILLONITE

Elle a été rencontrée assez fréquemment dans les roches-mères (profils n°s 15 - 16 - 18 - 20 - 23 - 24 - 25 - 26). Par contre, elle est rarement présente au sommet des profils, sauf dans le cas de sols hétérogènes sur alluvions et colluvions (profils 16 et 24), ainsi que dans les sols sur roches-mères exceptionnellement riches en montmorillonite (n° 23). Interstratifiée avec l'illite, elle est au contraire beaucoup plus fréquente (profils n°s 15 - 19 - 20 et 23).

III. - LA KAOLINITE

Elle a été rencontrée beaucoup plus fréquemment que dans les sols calcimorphes. Elle est en effet le minéral dominant dans 5 profils.

Pour certains d'entre eux, elle est déjà le minéral cardinal dans la roche-mère (n°s 17 - 21 - 22). Pour d'autres au contraire, elle ne devient dominante que dans l'horizon superficiel (n°s 24 et 26). Son origine dans les deux cas paraît donc différente.

Enfin, dans certains profils, on observe en surface une diminution des teneurs en kaolinite. Ces cas correspondent toujours à des sols où des éléments allochtones ont pu être mis en évidence (profils n°s 20 - 25).

Du point de vue qualitatif, l'évolution de la kaolinite est assez restreinte. Le plus souvent sa cristallinité est bonne dans tous les horizons. Dans quelques cas cependant, on remarque la présence de kaolinite hydratée (n°s 17 - 26).

IV. - LA VERMICULITE et ses INTERSTRATIFIES

La vermiculite et ses interstratifiés n'ont généralement été rencontrés que parmi les sols les plus évolués de la série (sols lessivés). Ils apparaissent le plus souvent au sommet des profils (n°s 21 - 23).

Leur présence est souvent liée à celle de la chlorite sous forme d'interstratifié chlorite-vermiculite rencontré, en particulier, dans le sol sur limon quaternaire prélevé à SAINT-SAUVEUR, Dordogne (profil n° 18). Plus généralement, ces édifices mixtes sont fréquents dans toutes les formations éoliennes récentes. A ce point de vue, leur présence est symptomatique au sommet de certains profils (n° 23).

Enfin, les feuillets de vermiculite rencontrés dans certains sols sont parfois de type gonflant (n° 17). Ce fait semble traduire un état de désaturation de ces minéraux dont l'individualisation par rapport aux montmorillonites n'est pas toujours absolue.

Chapitre IV

LES SOLS ÉVOLUÉS A HUMUS BRUT

Ces sols présentent un profil ABC et sont caractérisés par un humus brut ou "mor", très acide, à décomposition lente.

D'après le degré d'évolution, trois groupes peuvent être distingués dans cette classe. Ce sont, dans l'ordre :

- Les sols ocre podzoliques.
- Les sols podzoliques.
- Les podzols.

I. - DESCRIPTION DU PROFIL TYPE : PODZOL HUMO-FERRUGINEUX

Les horizons successifs sont les suivants (fig. 41) :

A_0 : Très épais. Matière organique mal décomposée.

A_1 : Peu épais. Horizon minéral noirâtre, riche en humus.

A_2 : Epaisseur variable. Horizon blanchâtre, lessivé, typiquement cendreux.

B_1 : Peu développé ; bande noirâtre d'accumulation d'humus.

B_2 : Epaisseur variable. Horizon rouille riche en fer ferrique pouvant être concrétionné en un "alios" caractéristique.

Le pH du sol est très acide et généralement inférieur à 5 en surface. Les horizons d'accumulation sont considérablement enrichis en fer (indice d'entraînement : 4 à 10). L'horizon A_2 au contraire est presque totalement lessivé. Enfin, le complexe absorbant fortement désaturé est également plus ou moins détruit.

II. - PRINCIPAUX TYPES

Deux cas doivent être distingués :

1° - En station bien drainée

a) - Les sols ocre podzoliques :

Ils constituent le groupe le moins évolué. L'horizon A_2 n'est pas différencié.

b) - Les sols podzoliques :

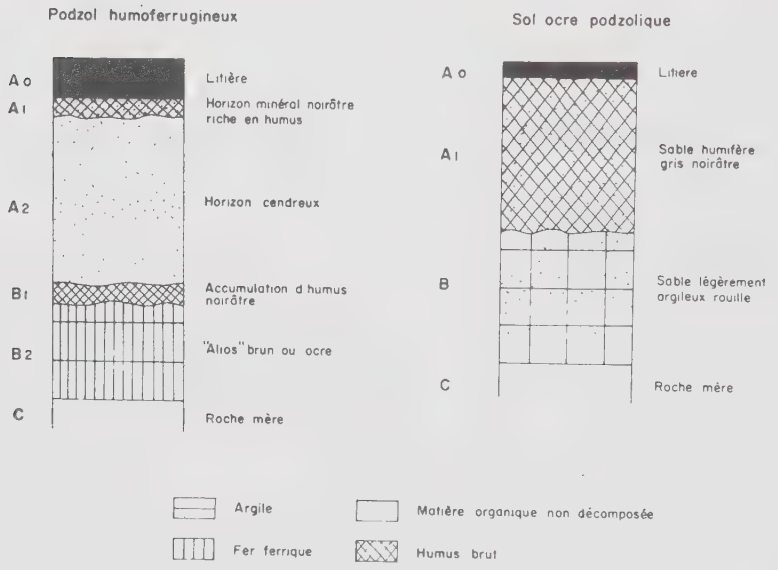
Ils présentent un début d'individualisation de l'horizon A_2 mais celui-ci, incomplètement lessivé, ne présente pas la structure cendreuse caractéristique.

c)– Les podzols :

L'horizon A_2 est bien développé. L'évolution se fait suivant deux étapes successives :

- Les podzols ferrugineux : les colloïdes entraînés sont uniquement de nature ferrique.
- Les podzols humo-ferrugineux : Il y a eu successivement entraînement du fer, puis des colloïdes organiques. Le profil présente alors les deux horizons d'accumulation superposés décrits ci-dessus.

Fig. 41. SOLS ÉVOLUÉS A HUMUS BRUT



2°– En station mal drainée

La partie supérieure du profil doit être cependant suffisamment aérée pour permettre le lessivage des colloïdes. Le podzol se développe alors, soit sur un horizon de type pseudogley, soit sur un gley, suivant la profondeur et la constance de la nappe. L'horizon B est en général humique. Quant au fer, il ne précipite localement que sous forme de taches rouille étant donné les conditions réductrices présidant principalement au dépôt.

3°– Conditions de formations

En zone atlantique, les sols à humus brut sont liés à la présence d'une végétation acidifiante : bruyère, forêt résineuse.

La podzolisation nécessite en outre la présence d'une roche-mère très filtrante et pauvre en alcalins et alcalino-terreux : sables, graves maigres, etc.

L'ensemble de ces conditions sont réunies sous la forêt atlantique, où s'observent les podzols les plus caractéristiques. En raison de l'extrême pauvreté de ces sols en argile, ceux-ci se prêtent mal à une étude des minéraux argileux. Seuls, quelques grands types prélevés à la limite orientale d'extension du "Sable des Landes" seront donc examinés ici.

27 - BRUGES (Gironde). Sol sur grave de la terrasse inférieure
Sol ocre podzolique

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 368,60
y = 291,52
z = + 6

CARACTERES GENERAUX :

Sol de prairie située au sommet d'une carrière ouverte dans les alluvions anciennes de la terrasse inférieure (a1c), localement constituée de graviers, de cailloux et de sables. En outre, une mince couche de sable éolien des Landes s'observe en surface. La base de la carrière est occupée par l'"Etang de la Mothe" dont le niveau se situe à 5 m environ en contrebas de la coupe.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 40 cm : A_1 (GA 13.143) : Sable limoneux humifère, gris-noirâtre à nombreuses racines de graminées.

40 à 90 cm : B (GA 13.144) : Horizon graveleux brun-rouille légèrement consolidé.

90 à 175 cm : C (GA 13.145) : Grave maigre beige.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			V	IV + IC	I	K
A_1	76,1	10,1	4,7	7,3	-	5,9	T	30	50	20
B	78	7,8	4,3	9,2	-	6,2	30	10	40	20
C	93,9	2,4	0,3	2,5	-	6,6	35		50	15

COMMENTAIRES :

1° - Caractères pédologiques :

Le sol présente une texture très sableuse liée, dans les horizons inférieurs, à une forte teneur en éléments grossiers hérités de la roche-mère graveleuse.

Le lessivage n'a pas atteint une intensité suffisante pour permettre l'individualisation d'un horizon A_2 cendreux. D'autre part l'horizon d'accumulation est diffus et peu consolidé. Enfin, les pH sont encore relativement élevés.

Il s'agit donc ici d'un stade évolutif caractéristique des sols ocre podzoliques.

2° – Minéraux argileux :

D'une façon générale, les diffractogrammes obtenus sont d'assez mauvaise qualité en raison, d'une part, de la faible teneur du sol en argile et, d'autre part, de l'état de dégradation avancée des minéraux.

L'abondance des divers constituants varie peu le long du profil. L'illite est régulièrement dominante (40 à 50 %). Elle présente toujours des feuillets très ouverts, mal cristallisés et dont le rapport $\frac{A}{}$ oscille aux environs de 2,8 ; 15 à 20 % de kaolinite hydratée et des proportions variables de vermiculite lui sont associés. Seule, cette dernière subit des fluctuations notables. Dans les horizons A et C, elle est surtout représentée sous forme d'interstratifié irrégulier avec l'illite. De plus, quelques feuillets de chlorite-vermiculite semblent responsables de la dissymétrie de la raie à 10 Å après traitement à la chaleur. Quant à l'horizon B, il constitue un horizon d'accumulation de la vermiculite vraie. Les interstratifiés par contre y sont peu abondants.

L'analyse thermopondérale fournit d'intéressantes informations sur l'état de cristallisation des minéraux.

Les thermogrammes et plus encore les diagrammes circulaires (fig. 42) montrent en effet des pertes de poids continues sans accident caractéristique. Les minéraux semblent ainsi avoir perdu la quasi-totalité de leurs propriétés thermogravimétriques. Par contre, quelques feuillets qui ont conservé leur structure cristalline présentent encore un comportement normal vis-à-vis des rayons X.

Les pertes de poids globales sont assez faibles pour les argiles des horizons A et B. Pour C au contraire, elles atteignent 19 %. En effet, la fraction voisine de 2 microns des horizons supérieurs contient une importante proportion de quartz.

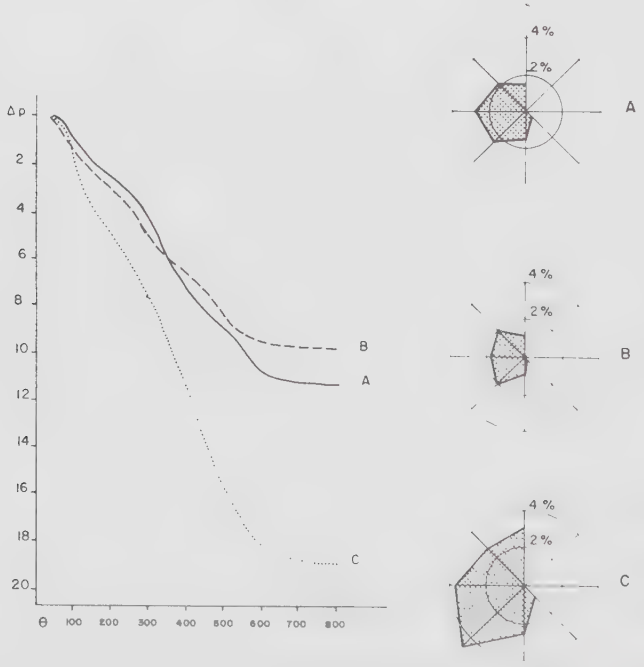


Fig 42. BRUGES (Gde) ÉTUDE THERMOGRAVIMÉTRIQUE DES PHASES ARGILEUSES.

28 – BEAUTIRAN (Gironde). Sol sur graves de la terrasse ancienne moyenne

Sol ocre podzolique

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 377,35
y = 270,50
z = + 21

CARACTERES GENERAUX :

Sol de vignoble de la région des "Graves". Plusieurs prélèvements ont été effectués dans une zone sensiblement horizontale récemment déboisée en vue d'être plantée en vigne. Jusque là, la végétation était composée de pins et d'acacias. La roche-mère est régulièrement constituée par des sables et graviers de la terrasse ancienne moyenne (a_1 b) qui recouvre, sur une dizaine de mètres d'épaisseur environ, le "Calcaire à Astéries" affleurant en contrebas, à la faveur du lit d'un ruisseau. Les quatre profils examinés sur une superficie d'une vingtaine d'hectares présentent de grandes similitudes. Un seul d'entre eux sera donc décrit ici.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 20 cm : A_0A_1 (GA 22.745) : Sables grossiers gris-brun et humus non décomposé. Nombreux galets de forte taille. Horizons remaniés lors du défrichage.

20 à 40 cm : A_1 (GA 22.746) : Sables grossiers gris-brun et galets de forte taille.

40 à 75 cm : B (GA 22.747) : Sables bruns et très nombreux galets.

75 à 100 cm : B(C) (GA 22.748) : Sables brun clair et galets.

150 cm et au-dessous : C (GA 22.749) : Sables jaunâtres à passées brunes et galets.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			V	IV + IC	I	K
A_0A_1	80,6	10,8	5,5	3	-	5,1	40	25	-	35
A_1	77,5	13,7	6	2,4	-	5	45	30		25
B	82,7	10,1	4,7	3,2	-	5	50	25	-	25
B(C)	87,6	6,8	3,3	2,1	-	5	45	25	-	30
C	89,2	6,2	1	2,9	-	5,1	15	5	35	45

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_1	0,08	0,55	0,85
B	0,075	0,38	0,75
C	0,085	0,45	0,19

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Le caractère essentiel de ce profil concerne son extrême pauvreté en argile. La proportion d'éléments fins varie en effet entre 2 et 3 %. De ce fait, le lessivage pour aussi important qu'il soit dans un terrain aussi perméable ne provoque pas l'apparition d'horizons bien tranchés. Seul le niveau B (40 – 75 cm) s'individualise grâce à sa coloration brune caractéristique des horizons d'accumulation. Les pH restent toujours voisins de 5 et traduisent bien l'état de désaturation du complexe absorbant que l'analyse permet de souligner. Celle-ci révèle en effet des teneurs très faibles en potassium et calcium échangeables. Le sodium par contre est anormalement abondant.

En dépit de la faible différenciation qu'il présente, ce profil offre donc un ensemble de caractères permettant de le classer parmi les sols de type ocre podzolique.

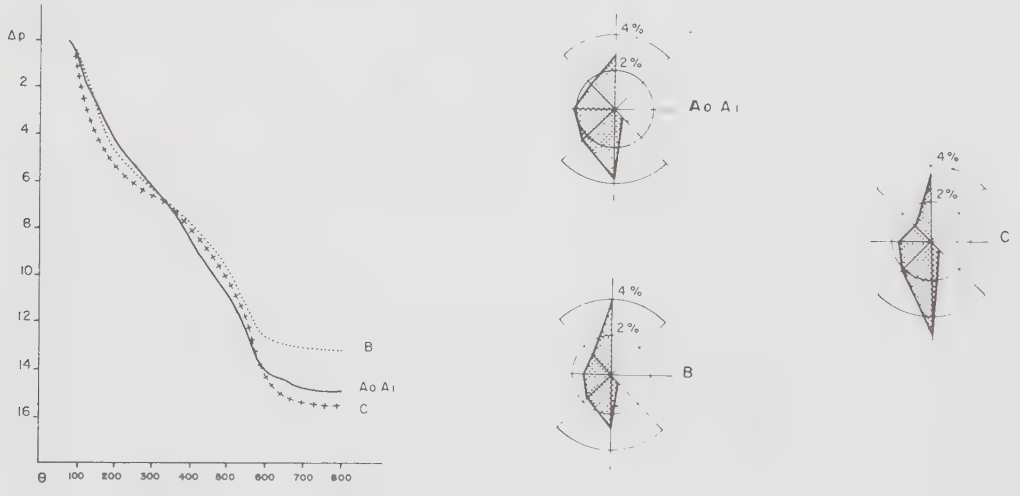


Fig. 43 BEAUTIRAN (Gde) ÉTUDE THERMOGRAVIMÉTRIQUE DES PHASES ARGILEUSES

2° – Minéraux argileux :

Dans l'horizon inférieur, la kaolinite est l'élément dominant de la phase argileuse (45 % environ). Elle est de type hydraté et, au microscope électronique, elle présente fréquemment un faciès en tubes. L'illite, à feuillets "ouverts", vient en second rang. On note enfin la présence de vermiculite partiellement interstratifiée avec la chlorite et l'illite.

Dans les horizons sus-jacents, l'illite disparaît et les minéraux vermiculitiques deviennent dominants. En même temps, l'abondance relative de la kaolinite diminue légèrement.

Enfin au sommet du profil, la vermiculite voit son abondance diminuer faiblement à son tour. Les pourcentages de kaolinite deviennent alors de nouveau relativement importants.

L'analyse thermopondérale (fig. 43) souligne bien l'altération progressive des minéraux, de bas en haut du profil. Dans les horizons inférieurs, les pertes de poids s'effectuent par étapes successives bien nettes qui permettent de caractériser la kaolinite et un minéral à eau interfoliaire abondante. Au fur et à mesure que l'on s'élève dans le profil, les départs d'eau se font de plus en plus progressifs et dans l'horizon superficiel, seule la kaolinite demeure identifiable grâce à une perte de poids bien individualisée aux environs de 500°C.

Remarque :

L'examen de la fraction détritique à la loupe binoculaire révèle que les particules de micas, abondantes dans la roche-mère, sont de plus en plus rares vers le sommet du profil. Cette évolution mérite d'être parallélisée avec la disparition de l'illite dans le sol. Il semble qu'il y ait ici destruction de tous les réseaux micacés au cours des processus de pédogénèse.

29 – BLANQUEFORT (Gironde). Sol sur sable éolien
Podzol humo-ferrugineux

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 366,70
y = 294,40
z = + 20 environ

CARACTERES GENERAUX :

Ce profil a été échantillonné au sommet d'une carrière ouverte dans une des dunes fossiles de "Sable des Landes" de la région de BLANQUEFORT. Localement, la végétation très clairsemée est constituée de quelques pins poussant sur le flanc de la dune.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_0A_1 (GA 13.123) : Humus brut et sable noirâtre. Nombreuses aiguilles de pins non décomposées. Racines de graminées.

10 à 20 cm : A_1 (GA 13.124) : Sable beige et particules organiques.

20 à 75 cm : A_2 (GA 13.125) : Sable gris clair lessivé. Présence de quelques graviers.

75 à 100 cm : B_1B_2 (GA 13.126) : Horizon sableux brun-noirâtre légèrement consolidé, riche en matière organique.

1 m et au-dessous : C (GA 13.127) : Sable roux.

RESULTATS D'ANALYSES :

En raison de la texture uniformément sableuse du sol, l'analyse granulométrique des divers horizons n'a pas été effectuée. La teneur en argile demeure toujours très faible et de très importantes quantités de sédiment ont dû être lavées pour la réalisation des plaquettes orientées soumises

à l'analyse diffractométrique. Malgré cela, les diagrammes obtenus restent assez médiocres et l'estimation quantitative des divers minéraux argileux n'a pu être effectuée que d'une manière très approximative (1), résumée dans le tableau ci-dessous :

Hor.	C	pH	ARGILES			
			CV	IM	I	K
A_0A_1	-	5,5	T	++	+	++
A_1	-	5,4	T	++	+	++
A_2	-	5,2	-	+	+	+
B_1B_2	-	5,3	+++	+	T	+
C	-	5,4	++	-	T	++

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Les caractères essentiels du profil sont ceux d'un podzol humo-ferrugineux : pH acides, présence d'un horizon A_2 lessivé et cendreux, individualisation d'un horizon d'accumulation de type alliotique riche en matière organique et en fer.

2° – Minéraux argileux :

D'une façon générale les diffractogrammes obtenus sont de mauvaise qualité, tant en raison de la faible abondance de la phase argileuse que de la mauvaise cristallinité de celle-ci.

Les interstratifiés chlorite-vermiculite, abondants dans la roche-mère et dans l'horizon B, disparaissent pratiquement au sommet du profil où ils sont relayés par des interstratifiés gonflants de type illite-montmorillonite.

La kaolinite est toujours abondante. Elle semble cependant plus rare en A_2 et en B. Enfin l'illite, très peu représentée à la base du profil, voit ses pourcentages augmenter légèrement au sommet. Sa cristallinité reste cependant toujours particulièrement mauvaise.

Remarque :

Pour chacun des niveaux, l'analyse diffractométrique a été réalisée sur deux fractions granulométriques différentes : 0,5 micron et 2 microns.

Chacune de ces deux fractions présente les caractères suivants :

1. – Fraction 0,5 micron :

Les diagrammes correspondant aux deux horizons inférieurs sont de très mauvaise qualité. Par contre ceux des horizons A_0, A_1 et A_2 sont relativement bons.

1. L'abondance relative des divers minéraux argileux a été notée de la manière suivante :

+++ : très abondant
++ : abondant
+ : présent
T : traces

L'interstratifié chlorite-vermiculite abondant en C et B disparaît pratiquement en A_2, A_1 et A_0. L'interstratifié illite-montmorillonite est au contraire toujours abondant. Il est dominant en A_1 et A_0.

2. – Fraction 2 microns :

Les meilleurs diagrammes obtenus ici sont ceux des horizons inférieurs (C, B et A_2).

L'interstratifié chlorite-vermiculite persiste, dans cette fraction, sur la quasi-totalité du profil et ne disparaît qu'en A_0. Quant à l'interstratifié illite-montmorillonite, il n'apparaît nettement que dans les horizons tout à fait supérieurs (A_0A_1).

3. – Conclusions :

L'inversion de la qualité des diagrammes de ces deux fractions granulométriques résulte de la diminution progressive de la taille des cristallites au cours de la pédogénèse.

L'apparition d'édifices gonflants semble se faire plus précocement dans les fractions fines que dans les grossières. Les interstratifiés chlorite-vermiculite, au contraire, sont cantonnés dans la fraction la plus grossière et semblent provenir directement du stock initial de la roche-mère.

30 – MARTIGNAS (Gironde).

Sol sur "Sable des Landes" recouvrant un paléosol de la terrasse ancienne supérieure

Podzol humique

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 354,72
y = 287,27
z = + 37

CARACTERES GENERAUX :

Sol de forêt de pins sur "Sable des Landes". Ce dernier recouvre, sur une faible épaisseur, les alluvions anciennes de la terrasse supérieure de la Garonne. Le prélèvement a été effectué au lieu dit "le Bon" au sommet d'une carrière ouverte dans ces alluvions. Localement, celles-ci sont constituées par une lentille d'argile très compacte qui passe à quelques mètres de distance en direction du nord aux graves grossières blanchâtres, habituelles de ces formations. En direction du sud, cette lentille a une extension de 2 km environ.

Sous 50 cm de Sable des Landes, l'argile est visible sur trois mètres d'épaisseur environ. Elle présente d'importantes traces de rubéfaction témoignant d'une pédogénèse ancienne de climat chaud. Quant au sable superficiel, il a donné naissance au sol actuel.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_0 (non échantillonné) : Humus brut fibreux, noirâtre. Aiguilles de pins et racines de bruyères nombreuses.

10 à 50 cm : A_1A_2 (GA 13.146) : Sable gris-noirâtre lessivé et particules organiques indépendantes du squelette minéral.

50 à 70 cm : B_1B_2 (GA 13.147) : Formation aliotique brun-noir, encore assez friable, avec des passées jaune-rouille présentant un début de consolidation.

70 à 75 cm : A' (1) (GA 13.148-2) : Argile plastique gris-brun à traces rouille présentant une structure prismatique.

75 à 90 cm : A' (2) (GA 13.148-1) : Argile plastique grise se débitant en polyèdres.

90 à 150 cm : B' (GA 13.149) : Argile plastique compacte, micacée, grise présentant de très nombreuses bandes de rubéfaction rouge sang, parfois consolidées.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES				
	SG	SF	L	A			IM	I	IV	CV	K
A_1A_2	73,6	13,6	2,7	2,6	-	4,7	-	75	T	T	25
B_1B_2	47,9	7,4	12,0	3,7	-	4,0	-	60	T	T	40
A' (1)	30,9	4,8	52,5		-	4,2	10	30	-	-	60
A' (2)	8,1	2	88		-	4,6	-	40	-	-	60
B'	0,4	2,4	95,4		-	4,1	-	40	-	-	60

COMMENTAIRES :

1°- Caractères pédologiques :

Deux zones se distinguent nettement sur ce profil :

a)- La partie supérieure (0-70 cm) :

Très sableuse, issue du "Sable des Landes". Elle constitue un podzol caractéristique dont les horizons A_1 et A_2 sont cependant peu différenciés. L'horizon B est surtout un niveau d'accumulation organique. Localement, des passées ocre-rouille consolidées traduisent toutefois un début d'alioti-sation. Cette partie supérieure du profil présente donc les caractères d'un podzol humo-ferrugineux.

b)- La partie inférieure (au-dessous de 70 cm) :

Très argileuse, d'origine alluviale ancienne. Elle présente des indices très nets de pédogénèse fossile. Trois horizons peuvent y être distingués :

- un horizon supérieur A' (1) : l'argile qui le constitue présente une structure prismatique habituelle dans les paléosols. Sa coloration foncée résulte à la fois de la fossilisation de l'ancien horizon organique et du voisinage avec "l'alios" humo-ferrugineux.

- un horizon médian A' (2) : argileux, de couleur grise, partiellement bariolé de brun-rouge.. Latéralement cet horizon passe à une argile plus sableuse, décolorée, dans laquelle de nombreuses taches rouille à partie centrale rouge sang peuvent être observées.

- un horizon inférieur B : rubéfié, à concrétionnements plus ou moins consolidés rouges, et disposés en bandes irrégulières.

La superposition d'une zone tachetée à une zone à concrétionnement dont la couleur rouge sang traduit la présence d'hématite (Fe_2O_3) apparente ce paléosol aux sols ferrugineux de climats chauds (DUCHAUFOUR, 1960). On sait que ces sols se forment dans les zones de steppes à pluviosité trop faible pour permettre l'édification de carapace ferralitique. La sécheresse du climat explique en outre

la présence d'oxydes de fer non hydratés et différencie nettement ce profil des sols de climat tempéré humide à goethite.

Remarque :

Il nous est apparu intéressant de signaler ici la présence de tels paléosols bien que ces derniers sortent du cadre de ce chapitre. Fréquents à la limite d'extension du "Sable des Landes", ces sols permettent de définir les relations des podzols atlantiques actuels avec le substratum géologique local. En outre, au vu de l'évolution climatique, il est permis de penser que ces sols ont dû se former durant l'une des phases interglaciaires du Quaternaire ancien (GUNZ/MINDEL). Ce fait pourrait conduire à faciliter la datation de l'épandage du "Sable des Landes" et de l'édification des podzols actuels.

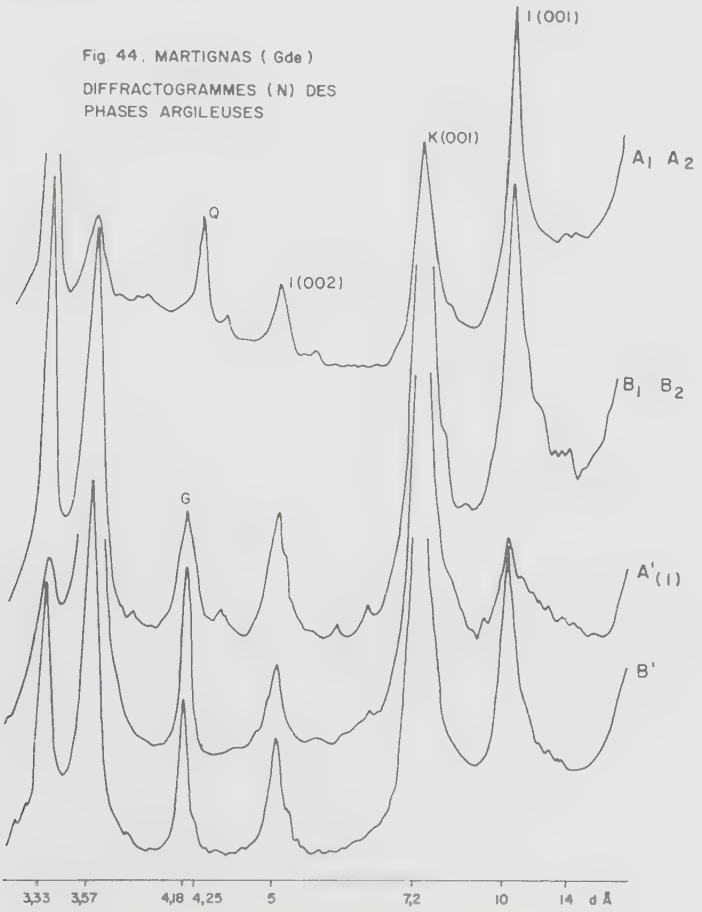
2° - Minéraux argileux (fig. 44) :

Les deux zones distinguées ci-dessus s'individualisent également par la nature et l'évolution des minéraux argileux qu'elles contiennent :

a)- Le paléosol :

Dans les horizons inférieurs et moyens, la kaolinite est dominante sur 40 % d'illite environ. Les minéraux sont remarquablement bien cristallisés.

Dans l'horizon supérieur, les pourcentages d'illite diminuent et on constate l'apparition d'interstratifiés illite-montmorillonite. La kaolinite ne varie pas mais la cristallinité générale des minéraux est quelque peu affaiblie.



b)– Le podzol actuel :

L'illite, de type muscovite, est au contraire fortement dominante sur la kaolinite. Des traces d'interstratifiés chlorite-vermiculite et illite-vermiculite leur sont également associés. Ils se traduisent sur les diagrammes "chaleur" par une légère intensification de la raie de l'illite et par un épaulement aux environs de 12 Å.

Les deux horizons prélevés présentent un cortège très voisin. En surface, l'illite est cependant légèrement plus abondante.

31 – MERIGNAC (Gironde).

Sol sur graves de la terrasse ancienne supérieure et sable éolien
Podzol humo-ferrugineux

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 360,40
y = 286,55
z = + 47

CARACTERES GENERAUX :

Profil caractéristique de podzol humo-ferrugineux situé en bordure d'un champ cultivé voisin de l'aérodrome de BORDEAUX-MERIGNAC. Les graves de la terrasse ancienne supérieure (a_1a) constituent la roche-mère du sol. Un poudrage éolien de "Sable des Landes" recouvre cependant les formations graveleuses sur 40 cm environ d'épaisseur. Il faut signaler enfin que la topographie générale de la région est rigoureusement plane.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 50 cm : A_1A_2 (GA 13.128) : Sable humifère grisâtre, graveleux à la base. Cet horizon est remanié par les cultures.

50 à 90 cm : B_1B_2 (GA 13.129) : Grave humifère et ferrugineuse noirâtre et ocre partiellement consolidée. Généralement les parties noirâtres, plus friables, sont superposées aux passées ocre concrétionnées.

90 à 150 cm : C (GA 13.130) : Grave maigre grisâtre, très caillouteuse.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			CV + IV	V	I	K
A_1A_2	62,7	15,6	12,3	2,7	-	4,7	15	T	60	25
B_1B_2	64,1	9,1	3,7	9,3	-	5,1	5	20	30	45
C	71,9	17,5	3,5	4,4	-	5,5	T	15	40	45

COMMENTAIRES :

1°– Caractères pédologiques :

Les travaux agricoles ont homogénéisé les deux horizons supérieurs. Ceux-ci présentent cependant une extrême pauvreté en argile caractéristique des niveaux lessivés. L'horizon B est au contraire enrichi en éléments fins et l'apparition d'une couche organique noirâtre à son sommet montre que le lessivage a dépassé le stade du simple entraînement du fer. Cette dégradation du sol est caractéristique des podzols humo-ferrugineux. Les pH très acides sont ceux rencontrés habituellement dans ce groupe de sol.

2° – Minéraux argileux :

L'étude diffractométrique de la phase argileuse montre que dans l'horizon C la kaolinite partiellement hydratée est dominante sur l'illite dont les raies fines et symétriques traduisent un excellent état de cristallisation. De faibles quantités de vermiculite complètent ce cortège qui est assez fréquent dans les graves des terrasses.

Dans les niveaux sus-jacents, l'abondance de la kaolinite diminue notablement, en particulier dans l'horizon sableux superficiel. L'illite, au contraire, voit ses pourcentages augmenter de bas en haut du profil, mais dans le même sens sa cristallinité s'altère rapidement et son rapport $\frac{A}{}$ passe de 1,3 en C à 3,4 en A. La vermiculite, abondante en B, n'est plus représentée en surface que par ses interstratifiés chlorite-vermiculite et illite-vermiculite.

Les résultats tirés de l'analyse thermopondérale confirment cette évolution générale de la phase argileuse. En particulier pour les horizons B et C, les départs d'eau se font par paliers bien individualisés et les pertes de poids maximales se situent aux environs de 500°C. Ces faits traduisent à la fois la bonne cristallinité des minéraux et l'abondance de la kaolinite dans ces horizons. Au contraire, la phase argileuse superficielle subit des pertes de poids progressives entre 200 et 700°C, confirmant ainsi son état de dégradation avancé.

Remarque :

Il convient de remarquer ici que la répartition verticale des minéraux argileux n'est pas uniquement d'origine pédologique puisque le sol est issu de deux formations différentes. Ce cas est fréquent dans les sols girondins à la limite d'extension du "Sable des Landes".

32 – BLANQUEFORT (Gironde). Sol sur alluvions récentes

Sol podzolique à gley

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 367,20
y = 295,90
z = + 4

CARACTERES GENERAUX :

Sol de forêt humide, à pins maritimes et sous-bois de molinies et bruyères, sur alluvions récentes sableuses de la Garonne et de la Jalle de BLANQUEFORT. Lors du prélèvement, à la fin de l'été, le niveau de la nappe se situait à 80 cm environ de profondeur. En hiver celui-ci s'établit fréquemment au voisinage de la surface.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 5 cm : A_0 (non échantillonné) : Humus brut noirâtre.

5 à 35 cm : A_1 (GA 22.750) : Sable gris-brun clair.

35 à 60 cm : A_2 (GA 22.751) : Sable gris-beige.

60 à 85 cm : B (GA 22.752) : Sable légèrement argileux, gris clair, à passées rouille.

85 à 120 cm : G (GA 22.753) : Sable argileux gris foncé.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES					
	SG	SF	L	A			IM	IV	V	I	K	ChV
A_1	76,9	10,9	3,1	6,7	-	5	-	15	T	65	20	-
A_2	75,6	13,6	3,9	5,5	-	5,1	30	T	-	50	20	T
B	75,7	11,1	3,7	9	-	5	30	-	-	50	20	-
G	77,7	9,3	2,8	8,4	-	4,9	25	-	-	50	25	-

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_1	0,14	3,85	0,23
A_2	0,06	0,5	0,14
B	0,07	1	0,19
G	0,08	0,85	0,27

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Bien que peu prononcée, la podzolisation apparaît assez nettement dans les horizons supérieurs : A_0 épais à humus brut caractéristique ; A_2 lessivé de teinte délavée. Par contre l'enrichissement de l'horizon B en colloïdes est assez peu développé. L'entraînement de ces éléments est en effet freiné par la présence de la nappe qui a conditionné l'établissement, à la base du profil, d'un gley gris-noirâtre caractéristique. Celui-ci crée des conditions réductrices s'opposant à l'accumulation du fer qui migre à l'état ferreux. Seule une partie se dépose à l'état ferrique dans les périodes de basses eaux, ce qui se traduit par la présence de quelques passées rouille au sommet du gley.

La totalité du sol présente une texture uniformément sableuse héritée de la roche-mère, constituée en majeure partie de "Sable des Landes" remanié par le cours d'eau (abondance des grains ronds-mats). Tous les horizons ont un pH très acide.

2° – Minéraux argileux :

Dans tout le sol, la phase argileuse est à domínance essentiellement illitique. Le reste du cortège est constitué de quantités sensiblement constantes de kaolinite et de minéraux interstratifiés dont la nature varie selon les horizons du profil :

– Dans le niveau de gley et dans la zone de balancement de la nappe, ceux-ci sont de type illite-montmorillonite. En outre, l'illite y présente des feuillets très "ouverts".

– Au sommet du profil, les interstratifiés illite-montmorillonite font place aux interstratifiés illite-vermiculite, en même temps que l'illite, relativement plus abondante, voit sa structure se réorganiser.

Remarque :

Ce type de sol est très fréquent dans la zone de la lande atlantique, où il constitue un terme de transition avec les sols hydromorphes caractéristiques qui feront l'objet du prochain chapitre.

CONCLUSIONS

Dans les sols évolués à humus brut que nous avons étudiés, la nature et l'évolution des minéraux argileux que nous y avons rencontrés résultent de phénomènes complexes que nous résumerons ci-dessous :

I. – L'ILLITE

L'abondance et la répartition de l'illite dans les profils sont très variables. Les résultats bruts des analyses font apparaître sa très grande fréquence et l'augmentation de ses pourcentages dans les horizons superficiels. Un examen détaillé des résultats montre que la présence de fortes quantités d'illite au sommet des profils y coïncide généralement avec des apports de "Sable des Landes" ou de limons éoliens (profils n^{os} 27 – 30 – 31 – 32). Au contraire dans les profils rigoureusement homogènes, l'illite disparaît totalement au sommet du profil. Dans le profil de BEAUTIRAN par exemple (n° 28), où la grave de la terrasse a fourni la totalité du sol, l'illite est détruite dès l'horizon B ; même dans la fraction détritique grossière, les minéraux micacés disparaissent à leur tour.

Dans tous les profils, d'autre part, l'illite est toujours fortement dégradée dans les sols et sur les diagrammes, l'élargissement progressif de ses raies évoque toujours une altération graduelle de sa structure depuis la roche-mère jusqu'à l'horizon superficiel.

II. – LA MONTMORILLONITE

Les minéraux du groupe de la montmorillonite ne sont pratiquement pas représentés dans les sols podzoliques et les podzols. Les édifices interstratifiés complexes gonflants apparaissent toutefois au sommet du profil sur sable éolien de BLANQUEFORT (n° 29), plus particulièrement dans la fraction la plus fine de l'argile. Ils apparaissent également dans le podzol hydromorphe de BLANQUEFORT au niveau de la nappe phraétique.

III. – LA KAOLINITE

Son abondance dans les sols est étroitement liée à celle qu'elle présente dans la roche-mère. Toutefois, dans les sols où des apports éoliens superficiels se sont produits, on observe fréquemment une diminution des teneurs en kaolinite dans l'horizon A (profils n^{os} 30 – 31).

Il convient également de remarquer que la kaolinite de ces sols est assez fréquemment de type hydraté (profils n^{os} 27 – 28 – 31).

IV. – LA VERMICULITE et ses INTERSTRATIFIES

Dans les sols évolués à humus brut ces minéraux sont très fréquents et relativement abondants.

Souvent ces minéraux existent déjà dans les roches-mères (profils n^{os} 27 – 28 – 29 – 31). Quelquefois, ils n'apparaissent au contraire qu'au sommet du profil (profil n° 32), ou bien leurs pourcentages augmentent nettement dans les horizons supérieurs (n° 28).

Comme dans le cas des sols évolués à mull, une forte proportion de feuillets vermiculitiques est associée à la chlorite sous forme d'interstratifiés chlorite-vermiculite mal définis et très irréguliers. Ces édifices étant particulièrement abondants dans le Sable des Landes, ils apparaissent le plus souvent dans les profils complexes.

Chapitre V

LES SOLS HYDROMORPHES

Leur formation est liée à un engorgement du sol par une nappe d'eau à caractère réducteur.

– Si l'engorgement n'est que temporaire, il y a apparition d'un **pseudogley** (g) dans lequel le fer ferreux subit encore un lessivage localisé.

– Si l'engorgement est permanent il y a formation d'un gley typique (G) et le fer ferreux ne subit alors que des migrations ascendantes.

I. – SOLS A PSEUDOGLEY

1° – Description d'un profil caractéristique : Pseudogley à hydromorphie de profondeur

Sous les horizons éluviaux superficiels de type lessivé ou podzolique, on observe les horizons caractéristiques suivants (fig. 45) :

– g : zone de stagnation temporaire de l'eau. Alternance de taches grises (fer réduit) et de taches ocre (fer oxydé).

– (B)g : structure prismatique très nette. Bandes blanchâtres verticales ceinturées de rouille.

2° – Principaux types

Suivant la hauteur de la nappe et l'évolution du sol superficiel on distingue :

– **Sol brun (ou lessivé) marmorisé** : Nappe profonde. Horizon superficiel à mull. Horizons lessivés bien apparents.

– **Pseudogley de profondeur** : (décrit ci-dessus). Lorsque la nappe se rapproche de la surface du sol, l'horizon A_2 disparaît au profit de g qui l'envahit.

– **Stanogley** : La nappe très superficielle stagne presque toute l'année. L'horizon g repose directement sur la roche-mère. L'humus gorgé d'eau, très épais, évolue vers la tourbe.

3° – Conditions de formation

Ces sols se forment en station mal drainée sur roche-mère compacte ou peu perméable. La texture limoneuse favorise généralement leur apparition.

II. – LES SOLS A GLEY

1° – Description du profil type

Il comprend trois horizons (fig. 45) :

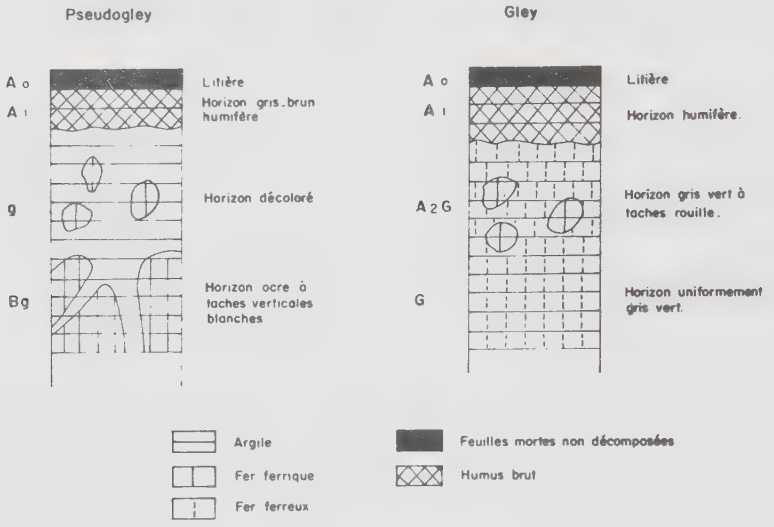
– Un horizon humifère de surface.

– Un horizon intermédiaire (A_2G) caractérisé par la précipitation d'oxydes ferriques sous forme

de taches rouille sur fond gris.

– Un horizon de gley (G) de teinte caractéristique uniformément gris-verdâtre en raison de la réduction générale du fer.

Fig 45. SOLS HYDROMORPHES



2° – Principaux types

D'après la nature de l'humus on distingue :

– **Sols de gley à mull** : l'horizon superficiel reste bien aéré, d'où une bonne minéralisation de l'humus de type hydromull.

– **Sols de gley à moder** : l'humus saturé d'eau en période humide se décompose mal et fournit un moder acide.

– **Sols humiques à gley** : l'engorgement de l'horizon superficiel dure encore plus longtemps. L'horizon A_1, noirâtre à taches rouille, prend une structure grasse et collante : Anmoor.

3° – Conditions de formation

Ces sols sont caractéristiques de certaines plaines alluviales à très faibles oscillations de la nappe. Lorsque ces oscillations présentent une amplitude supérieure à 1 m, il y a formation d'un sol alluvial, bien aéré, ne présentant pas ou peu de traces d'hydromorphie.

33 – COUTRAS (Gironde). Sol sur limons et "Sables du Périgord"

Sol brun lessivé marmorisé

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 404,35
y = 308,46
z = + 58

CARACTERES GENERAUX :

Sol de forêt sur limons superficiels recouvrant, sur une faible épaisseur, la formation dite des "Sables du Périgord". Le prélèvement a été effectué sur les coteaux surplombant les vallées de l'Isle et de la Dronne au lieu dit les "Jourdennes". Dans cette région, la végétation naturelle est fréquemment constituée de pins et de chênes sous lesquels poussent des ajoncs, des bruyères et des genêts.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_1 (GA 13.175) : Sable fin argileux gris-bistre à texture limoneuse.

10 à 35 cm : A_2 (GA 13.176) : Limon bistre.

35 à 37 cm : B (GA 13.177) : Liseré irrégulier de limon argileux bistre-rouille.

37 à 95 cm : (B)g Limon argilo-sableux gris verdâtre : (B)g (1) (GA 13.178) à passées rouille vers le sommet et à taches verticales blanches : (B)g (2) (GA 13.179) ceinturées de rouille.

95 cm et au-dessous : C (GA 13.180) (1) et (2) : Sable grossier à texture de limon sableux gris-verdâtre passant progressivement vers la base aux "Sables du Périgord".

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES		
	SG	SF	L	A			M'+IM	I	K
A_1	33,7	27	14,2	14,8	-	5,2	25	55	20
A_2	30,9	25,5	16	24	-	4,6	30	50	20
B	33,7	21,7	15,1	26,9	-	4,7	30	50	20
$(B)g_1$	55,2	15,4	9,3	21,7	-	4,7	20	60	20
$(B)g_2$	43,3	18,5	11,5	24,5	-	4,6	30	50	20
C(1)	60,4	12,8	6,6	17,0	-	4,6	20	50	30
C(2)	66,6	8,1	5,5	17,5	-	4,6			

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Les horizons de surface sont caractéristiques d'un sol brun lessivé relativement aéré : teintes délavées de A_1 et A_2, présence d'un niveau d'accumulation B, ocre. Au contraire, la coexistence de taches grises et rouille à la partie inférieure traduit une marmorisation de l'horizon B, où apparaissent des conditions alternativement réductrices et oxydantes par suite du mauvais drainage de ces horizons. Bien que riche en éléments sableux à la base, ce sol présente en effet une texture limoneuse à limono-argileuse qui rend difficile la libre circulation de l'eau. La superposition de deux formations (limons superficiels – sables) à granulométrie différente accentue encore ce défaut du sol et favorise la stagnation de la nappe à la limite des deux couches, en période humide.

Tous les niveaux ont une réaction nettement acide, tant en raison de l'évolution génétique du sol que de la nature de la roche-mère qui présente très généralement des pH très bas.

2° – Minéraux argileux :

Il convient de remarquer, avant toute chose, la teneur en argile relativement élevée, des horizons moyens du profil.

Malgré le grand nombre d'échantillons prélevés, l'illite apparaît régulièrement dominante sur la kaolinite et les minéraux montmorillonitiques. Ces derniers représentés pour moitié par la montmorillonite de type 12 Å et les interstratifiés illite-montmorillonite offrent une répartition quelque peu irrégulière dans les divers horizons du profil : leur abondance est plus élevée dans les horizons superficiels et les parties blanchâtres du pseudogley.

Les autres minéraux ne subissent au contraire que peu de variations.

34 – LA BREDE (Gironde). Sol sur alluvions récentes
Sol alluvial à gley

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 372,32
y = 268,22
z = + 20

CARACTERES GENERAUX :

Sol de prairie humide sur alluvions sableuses récentes du ruisseau du "Saucats", petit affluent de la rive gauche de la Garonne. Le profil a été prélevé sur le méplat de la vallée déterminée par le cours d'eau.

Un profil voisin, étudié dans le fond de celle-ci, a été décrit ci-dessus (n° 16). Le sol présenté ici, bien que situé plus haut, offre des caractères d'hydromorphie beaucoup plus accusés en raison de la présence d'une couche argileuse au sein des formations alluvionnaires. Cette couche, qui affleure à mi-hauteur au flanc de la vallée, s'oppose au drainage des sols sus-jacents.

La roche-mère est issue principalement du "Sable des Landes", mais ici encore, en partie, des formations marneuses et calcaires du Miocène, largement répandues plus en amont.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 25 cm : A_1 (GA 13.191) : Sable humifère noirâtre collant et assez compact.

25 à 50 cm : A_2G (GA 13.192) : Sable peu argileux gris-beige à passées rouille et grises.

50 à 200 cm : G (GA 13.193) : Sable légèrement argileux gris-brun avec quelques graviers.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	C	pH	ARGILES		
			10-14	I	K
A_1	-	6,3	50	25	25
A_2G	-	7,7	60	20	20
G	-	7,4	80		20

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Tous les horizons sont très régulièrement riches en sable hérité des alluvions. En raison de l'uniformité des textures les analyses granulométriques n'ont pas été effectuées. L'engorgement en eau se manifeste pendant la majeure partie de l'année et, au moment du prélèvement, la nappe se situait à 50 cm environ.

L'horizon de surface présente une couleur foncée et une structure compacte caractéristique des "anmoors" fréquents en zones de prairie humide. La gleyification n'est cependant pas très prononcée en raison de la faible teneur en argile et de la perméabilité relative du sol. L'horizon A_2G présente les taches rouille fréquentes dans ces sols mais l'horizon G offre une teinte légèrement brunâtre. La réduction du fer n'est donc pas totale : la couleur verte des gleys caractéristiques n'apparaît pas encore nettement.

Les pH sont assez élevés en raison de la proximité des formations calcaires. Le complexe absorbant doit donc être partiellement saturé en calcium.

2° – Minéraux argileux :

Les trois horizons prélevés présentent des cortèges argileux très voisins : un interstratifié gonflant de type 10 – 14 Å (voir remarque) est régulièrement dominant sur la kaolinite et l'illite.

L'évolution verticale de ces minéraux est réduite et peut se résumer de la manière suivante :

L'abondance de l'interstratifié diminue de la base au sommet du profil. Dans le même sens, le taux d'interstratification varie notablement puisque sur les diagrammes on observe un déplacement progressif du sommet de la raie : 12 Å (horizon C) ; 13 Å (horizon B) ; 13,8 Å (horizon A). La proportion de feuillets à 14 Å augmente donc de la partie inférieure à la partie supérieure du sol.

L'illite vraie n'apparaît avec netteté qu'en A. Dans les horizons B et C, sa raie caractéristique à 10 Å est noyée dans celle de l'interstratifié. Quant à la kaolinite, elle ne présente que de faibles variations d'abondance.

Remarque :

Sur les diagrammes "N", l'interstratifié se traduit par une raie très élargie entre 10 et 14 Å. Après glycolation cette raie disparaît et on remarque simplement une élévation du fond continu entre 10 et 20 Å. Ce comportement évoque celui d'un interstratifié illite-montmorillonite. Cependant, après chauffage à 550°C, si l'on observe, comme dans le cas de l'illite-montmorillonite, une intensification très nette de la raie à 10 Å, cette dernière présente en outre une forte dissymétrie vers les petits angles. Ce fait montre que certains feuillets ne "s'affaissent" pas totalement et doivent être attribués à la chlorite.

Il semblerait donc que l'interstratifié complexe 10 – 14 Å rencontré ici soit constitué en majeure partie de feuillets de type illite-montmorillonite mais que des proportions notables de feuillets chloriteux soient également présents. Dans ces conditions, nous avons désigné cet édifice par la simple appellation 10 – 14 Å.

35 – BLANQUEFORT (Gironde). Sol sur alluvions sableuses récentes

Sol à gley

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 367,72

y = 295,45
z = + 3

CARACTERES GENERAUX :

Marais sur alluvions récentes de la Garonne et de la Jalle de SAINT-MEDARD. Le sol, recouvert d'une prairie envahie par les joncs, reste gorgé d'eau pendant l'hiver. Les inondations y sont fréquentes lors des fortes marées. Au moment du prélèvement, effectué après une période de sécheresse, le niveau de la nappe se situait à - 70 cm environ.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 20 cm : A_1 (GA 13.090) : Limon argileux noirâtre collant et très plastique avec nombreuses racines de graminées soulignées de traînées rouille.

20 à 70 cm : A_2G (GA 13.091) : Limon sableux beige à ponctuations rouille.

70 à 100 cm : G(1) (GA 13.093) : Limon sableux gris-vert et graviers.

100 à 125 cm : G(2) (GA 13.094) : Sable limoneux gris et graviers. Petite passée d'argile noirâtre vers 125 cm.

125 à 180 cm : G(3) (GA 13.098) : Sable limoneux gris-noirâtre, micacé, avec quelques graviers.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				pH	ARGILES						
	SG	SF	L	A		Ch	CV	V	IV	10-14	I	K
A_1	37,1	13,8	7,5	31,8	6,1	-	-	-		60	10	30
A_2G	63,7	19	4,9	8,8	6,5	T	10	40	20	T	15	15
G(1)	69	17,9	4,3	7,6	5,9	15	20	15	10	-	40	T
G(2)	76,3	11,9	3,1	7,2	5,4	20	20	10	10	-	40	-
G(3)					5,5	30	15	-	5	-	50	-

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_2G	0,06	2,15	0,10
G(1)	0,07	2,65	0,11
G(2)	0,07	2,25	0,03
G(3)	0,10	2,85	0,13

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

L'horizon A_2 noirâtre, localement taché de rouille présente une structure grasse et collante caractéristique des "anmoors". La teneur en argile y est élevée mais celle-ci diminue très rapidement dans les niveaux sous-jacents qui présentent une couleur uniformément gris-verdâtre caractéristique du gley réduit.

Du point de vue géologique, il faut signaler que la roche-mère est constituée en majeure partie de grains ronds-mats apportés de la Haute Lande par la Jalle. Une proportion notable de grains non usés apparaît cependant à la base du profil et traduit un ravinement ancien des terrasses voisines.

2° – Minéraux argileux :

L'évolution verticale du cortège est assez complexe et constitue un bel exemple de la dégradation progressive des minéraux argileux au cours de la pédogénèse (fig. 46). Les analyses diffractométriques montrent qu'à la base du profil l'illite de type mica (pics très aigus et parfaitement symétriques) est légèrement dominante sur la chlorite partiellement altérée en interstratifié chlorite-vermiculite.

Au-dessus (de 125 à 20 cm), la vermiculitisation de la chlorite puis de l'illite s'affirme, d'abord sous forme d'interstratifiés chlorite-vermiculite et illite-vermiculite de plus en plus fréquents (de 125 à 70 cm), puis sous forme de vermiculite vraie très abondante entre 70 et 20 cm.

Dans l'horizon A, la vermiculite, à son tour, est relayée par un interstratifié complexe gonflant principalement constitué de feuillets de vermiculite gonflante, ainsi que nous l'avons déjà montré (partie I ; chap. II et fig. 27 et 28).

La disparition de la chlorite et la diminution de l'illite s'accompagnent d'une apparition de quantités notables de kaolinite dans les horizons A_2G et A_1.

L'analyse thermopondérale a permis de confirmer cette évolution verticale de la phase argileuse.

Dans les niveaux inférieurs les pertes d'eau se font en deux étapes principales bien individualisées :

– L'une de 100 à 200° C : elle souligne la proportion élevée d'illite et la présence de feuillets vermiculite interstratifiés avec la chlorite.

– L'autre de 500 à 600° C : attribuable aux chlorites de type bien cristallisé.

Au fur et à mesure que l'on s'élève dans le profil, les départs d'eau se font de plus en plus progressifs. Ils s'échelonnent régulièrement entre 100 et 800° C et traduisent la dégradation des édifices cristallins avec plus de sensibilité que ne le fait l'analyse diffractométrique. Enfin, dans l'horizon A_1 un crochet se dessine entre 400 et 500° C. Il semble attribuable à la kaolinite qui, de ce fait, présenterait donc une assez mauvaise cristallinité.

Remarque :

Dans tous les sols que nous avons examinés en Gironde, la chlorite s'est avérée assez peu abondante. Ici, au contraire, elle apparaît comme l'un des constituants importants de la phase argileuse.

CONCLUSIONS

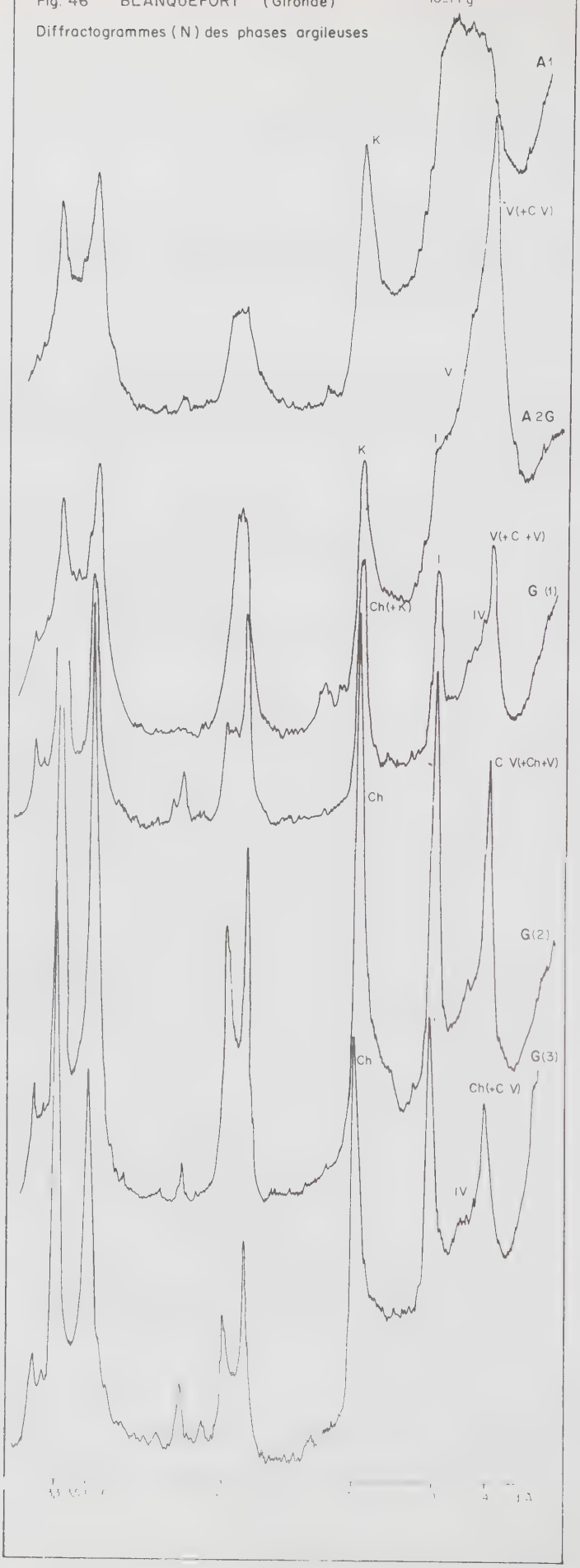
Les traits généraux suivants peuvent être dégagés de l'étude des sols hydromorphes analysés.

I. – L'ILLITE

Dans les sols à caractères d'hydromorphie peu accusée : sol brun lessivé marmorisé (profil

Fig. 46 BLANQUEFORT (Gironde)

Diffractogrammes (N) des phases argileuses



n° 33) ou à engorgement par une nappe saisonnière (profil n° 34), l'illite ne présente pas de variations notables d'abondance dans le profil. Dans le cas où des apports éoliens superficiels se sont produits, ses pourcentages peuvent même augmenter au niveau des horizons A (profil n° 32).

Au contraire, dans les sols nettement hydromorphes (profil n° 35), l'illite disparaît pratiquement en surface par altération progressive en édifice interstratifié de type illite-vermiculite partiellement gonflant. Par contre dans les horizons de gley, son abondance et sa cristallinité sont parfaitement conservées.

II. – MONTMORILLONITE et INTERSTRATIFIES

Quand les minéraux de cette famille sont présents dans la roche-mère (profils n°s 32 – 33 – 34), ils persistent en général dans tout le profil (n°s 33 et 34) ou tout au moins dans la zone d'hydromorphie (n° 32).

Dans les profils sur roche-mère n'en contenant pas, ils font totalement défaut dans tous les horizons (n° 35). Des feuillets gonflants apparaissent toutefois au sommet du profil, mais ils semblent s'apparenter plutôt à la vermiculite.

III. – KAOLINITE

Relativement peu abondante dans les sols hydromorphes analysés, la kaolinite ne subit pas, en général, de variations importantes dans les profils (n°s 32 – 33 – 34). Par contre, elle apparaît en assez grande quantité au sommet du sol à gley prélevé à BLANQUEFORT (n° 35) alors qu'elle fait totalement défaut dans la roche-mère.

IV. – LA CHLORITE

La chlorite est un constituant important des alluvions récentes qui forment la roche-mère de ce même profil de BLANQUEFORT. Il convient d'ailleurs de remarquer que les teneurs qui y ont été rencontrées sont nettement supérieures à celles que présente généralement cette terrasse dans des zones sans hydromorphie.

Dès la roche-mère, la chlorite est partiellement altérée en chlorite-vermiculite et cette altération va croissant à mesure que l'on s'élève dans le profil. Dans l'horizon superficiel, l'interstratifié lui-même disparaît.

V. – LA VERMICULITE

Elle est présente dans tous les horizons du profil de BLANQUEFORT sous plusieurs formes :

- à la base : interstratifiés illite-vermiculite et chlorite-vermiculite.
- dans les horizons médians : vermiculite vraie et interstratifiés.
- au sommet : vermiculite gonflante.

Ailleurs, elle n'apparaît que dans les horizons lessivés du podzol hydromorphe n° 32.

Chapitre VI

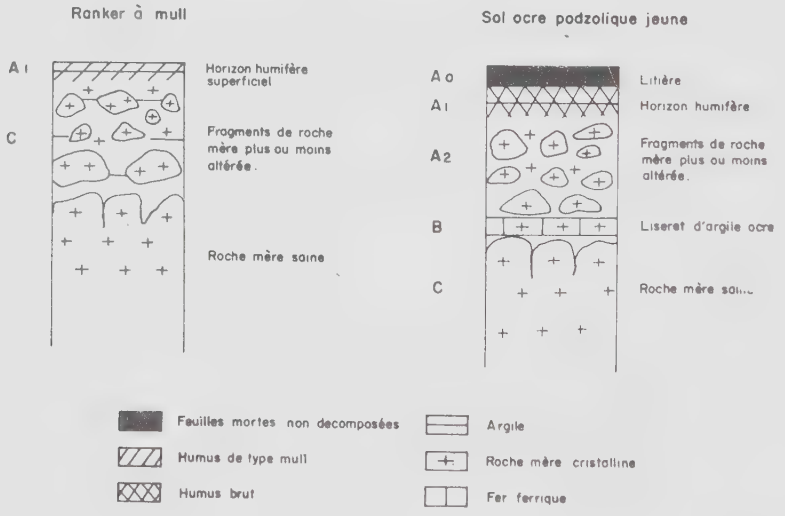
LES SOLS DE MONTAGNES

Les sols de montagne appartiennent en majorité au groupe des rankers ou sols peu évolués à profil de type AC. Leur genèse, contrairement à celles des classes précédemment décrites, est relativement indépendante de la roche-mère ; elle est conditionnée par deux facteurs essentiels :

- le climat
- la topographie.

Au-dessus de la roche-mère (fig. 47), ces sols ne présentent qu'un seul horizon A_1 constitué d'un mélange de matière minérale ou organique, associée à de nombreux fragments de roche-mère non décomposée. Plusieurs groupes peuvent être distingués d'après la nature de l'humus : rankers à mull, à moder ou à mor.

Fig 47. SOLS DE MONTAGNE



Sur les pentes, en raison du ravinement intense, l'épaisseur du sol est faible et son évolution très limitée. Dans les zones de topographie moins accentuée, au contraire, le profil devient plus complexe et la présence d'un liseré ferrugineux à la base de A_1 individualise un début d'horizon B qui traduit :

- sur roche-mère siliceuse, le passage du ranker typique à un sol podzolique.

- sur roche-mère calcaire, l'évolution de la "rendzine initiale" en rendzine brunifiée puis en sol podzolique.

Aucune de ces étapes évolutives n'est cependant absolument comparable aux groupes précédem-

ment décrits. Elles constituent des termes intermédiaires justifiant leur individualisation.

L'intérêt de l'étude des sols de montagne est double. D'une part, ils constituent d'excellents exemples d'évolution pédologique récente, presque toujours post-glaciaire. En ce sens, ils ont une origine que l'on pourrait qualifier de "monoclimatique". D'autre part, les roches-mères leur ayant donné naissance sont souvent des "roches vierges" (éruptives ou métamorphiques) n'ayant jusque-là subi aucune altération par désagrégation ou transport. L'étude de ces sols permet donc de saisir les premières apparitions de minéraux argileux à partir de roches n'en contenant pas.

36 – Col d'ESTIVERE (Haute-Garonne).
Ranker sur grès permo-triasiques

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 443,50
y = 79
z = + 1.200 environ.

CARACTERES GENERAUX :

Sol de la forêt feuillue qui s'étend jusqu'à une centaine de mètres du sommet du col. La roche-mère est constituée par les grès brun-rouge du Permo-Trias. Le prélèvement a été effectué en bordure de la route forestière sur une forte pente.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 5 cm : A_0 (non prélevé) : Feutrage dense de racines et matière organique noirâtre. Quelques fragments de grès.

5 à 40 cm : A_1C (GA 22.201) : Limon argileux brun-rouge et fragments de roche-mère plus ou moins altérée.

40 cm et au-dessous : C (GA 22.202) : Grès brun-rouge, micacé.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES		
	SG	SF	L	A			IM	I	K
A_1C	22,6	21,9	20,1	31,5	-	5,5	T	95	T
C		GRES			-	7,2	-	100	-

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Le sol présente un seul horizon uniformément constitué de limon argileux et de fragments de roche-mère. Il s'agit donc d'un sol jeune, peu épais de type ranker d'érosion couramment rencontré en montagne sur les fortes pentes.

Bien que la roche-mère présente une réaction basique, le sol est assez nettement acide.

2° – Minéraux argileux (fig. 10) :

L'illite est pratiquement le seul minéral présent tant dans la roche-mère que dans le sol. Dans ce dernier, on note cependant la présence de traces de kaolinite et d'interstratifiés illite-montmorillonite. En même temps la cristallinité de l'illite est quelque peu altérée alors qu'elle est excellente dans la roche-mère.

37 – NISTOS (Haute-Garonne).

Sol carbonaté de montagne sur marnes aptiennes

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 447,50
y = 81,25
z = + 800 environ.

CARACTERES GENERAUX :

Sol de pelouse sur marnes dites de "Sainte Suzanne" d'âge aptien inférieur. Le prélèvement a été effectué en bordure de la route de BAS-NISTOS à SAUSSET sur le replat d'une pente assez forte.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_1 (GA 13.197) : Sol végétal gris-brun, assez pauvre en matière organique mais riche en racines de graminées. Structure grumeleuse.

10 à 30 cm : A_2 (GA 13.198) : Argile limoneuse bistre. Racines abondantes.

30 à 35 cm : B (GA 13.199) : Passée discontinue d'argile limoneuse ocre.

35 à 50 cm : C_1 (GA 13.200-1) : Marne grise et brune feuilletée et altérée.

50 cm et au-dessous : C_2 (GA 13.200-2) : Marne grise peu altérée.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C		pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A	T	A		IV	IM	I	K
A_1	1,9	2,6	39,6	55,8	2	T	7,6	15	T	70	10
A_2	4,8	9,9	34,5	50,6	31	17	8,1	15	-	80	5
B	9,6	12,2	26,2	50,8	29	13,1	8,1	15	-	80	T
C_1	3	11	29	57	53	34,4	8,2	-	-	95	T
C_2	-	-	-	-	72	-	8,3	-	-	100	-

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

La structure du sol, les pH basiques, la forte teneur en carbonates de la majorité des niveaux

sont caractéristiques des rendzines. Au contraire, la présence d'un horizon A_2 de teinte délavée et d'un horizon B enrichi en oxydes de fer traduit un état d'évolution plus avancée du sol, et l'apparente à un sol brun lessivé. Toutefois, l'analyse granulométrique ne fait pas apparaître un entraînement de la fraction argileuse.

Ces caractères mixtes sont ceux rencontrés habituellement dans les sols carbonatés de montagne où l'évolution naturelle d'origine climatique en sols lessivés, voire podzoliques, est freinée par la présence des ions calcium.

2° – Minéraux argileux :

L'illite est le seul constituant de la phase argileuse des Marnes de Sainte-Suzanne. Elle présente une excellente cristallinité se traduisant sur les diagrammes par des raies fines, parfaitement symétriques et très intenses.

De bas en haut du profil, son abondance ainsi que la régularité de ses feuillets vont en décroissant. En même temps des traces de kaolinite, puis de faibles quantités d'interstratifiés de type illite-vermiculite apparaissent en B. Dans l'horizon superficiel, ces derniers représentent 15 % de la phase argileuse et sont associés à des traces d'interstratifiés gonflants de type illite-montmorillonite.

38 – Col de la LHOZE (Pyrénées-Orientales).
Ranker sur granite

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Route de MONTLOUIS à CAUDIES.
5 km au nord-ouest de MONTLOUIS.
Altitude : 1.866 m.

CARACTERES GENERAUX :

Sol forestier de montagne sur arène granitique. Le prélèvement a été effectué dans une aire relativement plane. Localement, la végétation est constituée de sapins.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_0 (non-échantillonné) : Matière organique noirâtre et fragments de granite. Feutrage de racines.

10 à 50 cm : A_1 (GA 9.715-1) : Horizon beige très riche en fragments de granite.

50 cm et au-dessous : (B)C (GA 9.715-2) : Arène granitique. Certains fragments présentent une coloration rouille en surface.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES					
	SG	SF	L	A			CV	IM	IV	Ch	Mi	K_H
A_1	31,8	22	3,2	36	-	4,5	-	T	60	T	T	35
(B)C		GRANITE			-	-	30	15	-	T	40	15

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

L'uniformité du profil est caractéristique des rankers de montagne. Cependant, la présence de quelques taches rouille sur les fragments de l'arène granitique est symptomatique d'un début d'altération libérant les oxydes ferriques. Ce ranker est donc en voie d'évolution vers le "sol ocre podzolique jeune". La situation du sol en zone sensiblement horizontale constitue un facteur favorable à cette évolution.

Il convient enfin de remarquer l'acidité importante du sol ainsi que la très mauvaise minéralisation de la matière organique qui constitue un horizon A_0 très épais.

2° – Minéraux argileux :

Quelques phyllites ont pu être extraites de l'arène granitique ; la muscovite y est le minéral dominant. Des quantités importantes d'interstratifiés chlorite-vermiculite lui sont associées. L'interstratifié illite-montmorillonite et la kaolinite de type hydraté complètent le cortège.

Dans le sol, la phase argileuse se renouvelle totalement. Elle est constituée presque exclusivement (1ère Partie – chap. II – II – B – par. 3 et fig. 25) d'interstratifié illite-vermiculite et de kaolinite hydratée.

39 – LACAPELLE-VIESCAMP (Cantal).

Ranker sur granite

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 591,60
y = 291,70
z = + 600 environ.

CARACTERES GENERAUX :

Sol de lande à bruyère et genêts développé sur les massifs granitiques bordant le lac de barrage de SAINT-ETIENNE-DE-CANTALES. Le prélèvement a été effectué sur une pente légère.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 10 cm : A_0A_1 (GA 13.101) : Horizon humifère et minéral gris-brun. Feutrage de racines de bruyères. Nombreuses particules de granite altéré.

10 à 30 cm : $A_1(B)$ (GA 13.102) : Horizon beige. Arène granitique et "poussière" plus ou moins argileuse.

30 cm et au-dessous : C (GA 13.103) : Granite altéré.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES			
	SG	SF	L	A			CV	IV	I	K_H
A_0A_1	56,2	14,7	2,9	16,2	-	4,7	50	10	T	40
A_1(B)	48,6	20,9	2,9	22,6	-	4,9	20	T	30	50
C		GRANITE			-	-	15	T	40	45

Hor.	COMPLEXE ABSORBANT		
	K^+	Ca^{++}	Na^+
A_0A_1	0,22	0,65	0,11
A_1 (B)	0,37	0,7	0,11

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

La texture très grossière souligne la jeunesse du sol. Celle-ci résulte de l'érosion le long de la pente. L'horizon superficiel est épais et très riche en matière organique mal décomposée de type moder. Typiquement cet humus ne constitue pas d'agrégats avec la matière minérale. Enfin, les pH sont régulièrement très acides.

La jeunesse relative de ce sol, ainsi que la présence de moder sont caractéristiques des rankers de montagne. Toutefois, l'épaisseur de l'horizon organique et le léger enrichissement en argile de l'horizon sous-jacent (indice d'entraînement : 1,4) incitent à penser que ce profil évolue vers un sol de type "ocre podzolique jeune".

2° – Minéraux argileux :

La kaolinite hydratée et l'illite constituent avec l'interstratifié chlorite-vermiculite les premiers minéraux argileux apparaissant au cours de l'altération du granite.

Dans les niveaux supérieurs, l'abondance de l'illite décroît régulièrement et celle-ci n'est plus représentée dans l'horizon superficiel que par son interstratifié illite-vermiculite.

L'interstratifié chlorite-vermiculite, au contraire, voit ses pourcentages passer de 15 % environ dans la roche-mère à 50 % au sommet du profil (fig. 26).

Il faut signaler enfin qu'en dehors des minéraux argileux la fraction inférieure à 5 microns est très riche en feldspaths alcalins et plagioclases directement hérités du granite.

40 – SAINT-MESMIN (Dordogne).
Sol sur schistes

SITUATION GEOGRAPHIQUE :

x = 511,05
y = 340,00
z = + 200

CARACTERES GENERAUX :

Sol de la forêt feuillue couvrant les flancs de la vallée de l'Auvézère. Le profil, prélevé sur une pente relativement peu accentuée, s'est développé sur une formation de schistes sériciteux qui affleurent sur de vastes étendues autour de SAINT-MESMIN.

Il ne s'agit pas ici d'un sol de montagne. Toutefois, l'évolution peu marquée du profil, sa position topographique, ainsi que la nature de la roche-mère, nous ont incité à le classer dans le groupe des sols de montagne.

DESCRIPTION DU PROFIL :

0 à 5 cm : A_0 (non échantillonné) : Horizon humifère.

5 à 35 cm : A_1 (GA 17.097-2) : Limon argileux bistre et fragments de schistes altérés.

35 cm et au-dessous : C (GA 17.097-1) : Schistes sériciteux peu altérés.

RESULTATS D'ANALYSES :

Hor.	GRANULOMETRIE				C	pH	ARGILES					
	SG	SF	L	A			Ch	V	CV	IV	I	K
A_1	20,9	9,5	25,7	38,6	0	5,1	10	50		10	10	20
C		SCHISTES			0	-	50	-	-	-	50	-

COMMENTAIRES :

1° – Caractères pédologiques :

Sol peu évolué ne comportant au-dessus de la roche-mère qu'un seul horizon minéral uniformément constitué d'un limon argileux et de fragments de schistes. Etant donné la grande friabilité de la roche-mère, leur présence souligne bien la jeunesse du profil.

2° – Minéraux argileux :

L'illite et la chlorite sont les seuls minéraux argileux présents dans la roche-mère. Sur les diffractogrammes, leurs raies caractéristiques témoignent d'une excellente cristallinité, ce qui est habituel dans les formations métamorphiques.

Dans l'horizon A_1, ces minéraux sont presque totalement relayés par leurs interstratifiés vermiculitiques et ne subsistent plus qu'en faible pourcentage. En même temps des quantités importantes de kaolinite font leur apparition et la cristallinité générale des édifices est nettement altérée.

La figure 48 représente les diffractogrammes "chaleur" de la roche-mère et du sol. Leur comparaison permet de mettre en évidence l'altération vermiculitique de la chlorite dans le sol. En effet, pour les schistes, la raie 001 de ce minéral est restée à 14 Å après une heure de cuisson à 550° C. Dans l'horizon superficiel au contraire, ce même traitement a provoqué un déplacement de la raie aux environs de 12 Å.

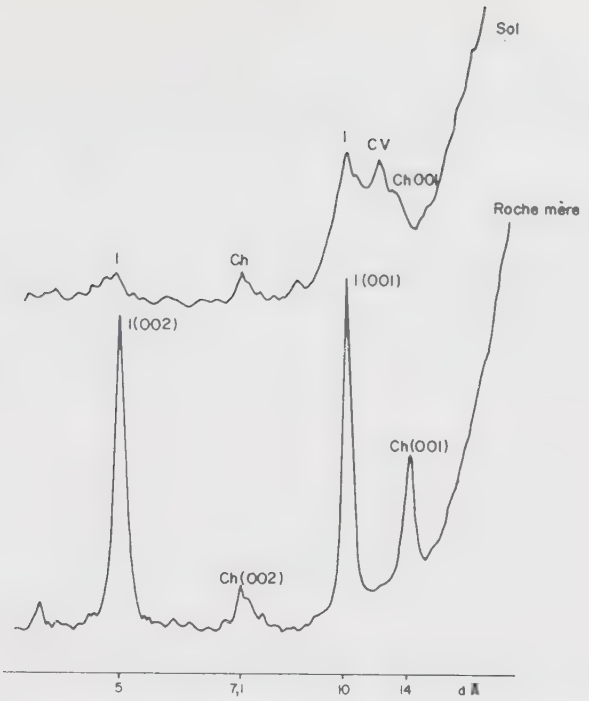


Fig. 48 SAINT MESMIN (Dne) DIFFRACTOGRAMMES "CHALEUR" DES PHASES ARGILEUSES

CONCLUSIONS

Pour restreint que soit le nombre d'exemples examinés, l'étude des minéraux argileux des sols de montagne a permis d'en dégager les traits généraux suivants :

I. – L'ILLITE

L'illite et plus généralement les micas sont des constituants très fréquents des roches-mères.

Dans les sols ces minéraux se retrouvent généralement en quantité importante mais une décroissance des teneurs en illite s'observe toujours dans l'horizon superficiel. Dans les sols les plus évolués de cet ensemble (n°s 38 et 39) l'illite disparaît même totalement au sommet du profil.

II. – LA MONTMORILLONITE

Les roches-mères des profils étudiés n'en contenant généralement pas, ce minéral fait presque totalement défaut dans tous les sols.

III. – LA CHLORITE

Seul le profil 40 en contient des quantités importantes dans l'horizon C. Au sommet du profil elle s'altère presque totalement en chlorite-vermiculite.

Cet édifice apparaît également dans l'horizon C du profil 38 et dans l'horizon superficiel du profil 39.

IV.- LA VERMICULITE et ses INTERSTRATIFIES

Ils sont des constituants importants de la plupart des sols. En effet, interstratifiée avec l'illite ou la chlorite, la vermiculite est particulièrement abondante au sommet des profils (n°s 38 - 39 - 40 - 35).

V.- LA KAOLINITE

Elle fait souvent défaut dans les roches-mères mais par contre est fréquemment abondante dans les horizons superficiels (n°s 38 - 39 - 40).

Dans les sols sur granite (n°s 38 et 39) elle se présente assez généralement sous sa forme hydratée.

TROISIÈME PARTIE

SYNTHÈSE et CONCLUSIONS

L'évolution des minéraux argileux dans les sols a déjà fait l'objet de nombreuses investigations. La plupart des travaux concernent cependant des profils d'altération typiques et parfaitement homogènes.

Cette étude montre que les sols nord-aquitains sont, au contraire, hétérogènes et résultent fréquemment de l'altération de plusieurs roches-mères. En outre, des apports étrangers divers viennent souvent compliquer encore la nature des profils.

A notre connaissance les argiles de ces sols n'avaient guère été étudiées jusqu'ici. Avant d'entreprendre un inventaire des phases argileuses fournies par l'altération des diverses formations géologiques, il convient donc d'essayer de dégager les traits généraux du comportement des minéraux argileux dans ces sols, et de préciser les facteurs responsables des particularités observées. Pour ce faire, l'interprétation de chacun des cas étudiés implique la considération préalable des données suivantes :

- Composition des cortèges argileux des roches-mères.
- Type génétique forestier se rapprochant le plus du profil d'altération considéré.
- Sens général de l'évolution des minéraux argileux dans un profil de ce type. A ce propos, les travaux antérieurs (HENIN, 1947 ; BROWN et MAC EWAN, 1950 ; MITCHELL W.A., 1955 ; CAMEZ, LUCAS et MILLOT, 1959 ; MITCHELL B.D., 1961 ; CAMEZ, 1962 ; JACKSON, 1965) fournissent de précieuses indications.
- Facteurs pouvant perturber ou modifier cette évolution naturelle : présence d'éléments allochtones, cultures, topographie, etc.

Dans la première partie de ces conclusions, nous serons donc amené à résumer le comportement des différents minéraux dans les sols étudiés. Nous tenterons également de dégager les aspects propres à la seule évolution pédologique des roches-mères et ceux attribuables aux influences étrangères ou "para-pédologiques".

Chapitre premier

TRAITS GENERAUX ET PARTICULARITES DU COMPORTEMENT DES MINERAUX ARGILEUX DANS LES SOLS NORDS-AQUITAINS

I. – L'ILLITE

Dans la majorité des roches-mères et des sols que nous avons analysés l'illite est à la fois le minéral le plus fréquent et le plus abondant. Elle se rencontre en proportions égales ou croissantes de la base au sommet des profils :

- Dans tous les sols calcimorphes.
- Dans la plupart des sols évolués à mull.
- Dans quelques sols faiblement hydromorphes.
- Dans de nombreux podzols et sols podzoliques.

Un comportement semblable a été fréquemment décrit dans la littérature pour les sols faiblement évolués (rendzines et sols bruns). Par contre, dans les podzols et les sols podzoliques, divers auteurs, parmi lesquels Th. CAMEZ (1962) en particulier, mettent en évidence une décroissance des teneurs en illite de la base au sommet des profils.

Or, un examen plus approfondi des résultats obtenus ici montre que l'accroissement des proportions d'illite dans les horizons supérieurs des sols évolués, coïncide toujours avec l'apparition de sables éoliens ou de limons récents généralement riches en micas et en illite. Parfois même, des arrivées massives de "Sables des Landes" ont masqué un ancien sol (MARTIGNAS – profil n° 30). On note alors une brutale augmentation des teneurs en minéraux micacés (30 % à 75 %) entre l'horizon superficiel du paléosol et le sol actuel.

Inversement, dans tous les sols évolués parfaitement homogènes, les pourcentages d'illite diminuent très rapidement de la base au sommet des profils. Cette évolution est encore plus nette dans les sols de montagne ; leur genèse est en effet rarement perturbée par des apports étrangers.

Il faut remarquer que dans la plupart des sols examinés, la cristallinité de l'illite est décroissante vers le sommet des profils. Parfois cependant, des réseaux micacés bien organisés apparaissent dans l'horizon superficiel. Ils se traduisent sur les diagrammes par des raies caractéristiques des muscovites. Celles-ci sont le plus souvent héritées d'apports allochtones superficiels.

Dans les sols nord-aquitains l'illite semble donc avoir une double origine :

- Les roches-mères : soit directement, par "héritage", soit par l'intermédiaire de l'évolution pédologique.
- Les apports éoliens divers plus ou moins récents.

II. – LA MONTMORILLONITE et ses INTERSTRATIFIES

La montmorillonite a été fréquemment rencontrée dans les roches-mères et en particulier dans les marnes et les calcaires.

Son évolution est identique dans la plupart des sols en ce sens que son abondance est régulièrement décroissante de la base au sommet des profils et qu'elle disparaît d'autant plus précocement que le sol est plus évolué. Il s'ensuit que dans les rendzines et certains sols bruns elle persiste au sommet des profils lorsqu'elle existe en quantité suffisante dans la roche-mère. Ailleurs, elle disparaît généralement dans les horizons superficiels. La fragilité de ce minéral explique bien ce comportement souvent décrit dans la littérature (DRISKELL, 1955 ; CAMEZ, 1962 ; HIGASHI et AOMINE, 1962).

Dans d'autres profils, la montmorillonite est relativement constante. Il s'agit toujours soit de sols hydromorphes, soit de sols complexes sur alluvions ou colluvions riches en montmorillonite.

Les interstratifiés de type illite-montmorillonite sont relativement fréquents dans les sols. Leur répartition dans les profils est très irrégulière mais, le plus souvent, ils n'apparaissent que dans les horizons supérieurs. Enfin des édifices complexes gonflants ont été rencontrés dans la fraction argileuse fine des horizons superficiels d'un podzol humique et d'un sol hydromorphe. Bien qu'après saturation en magnésium ils se comportent comme la vermiculite, ces édifices pourraient représenter des termes de passage à la montmorillonite, fréquemment citée dans les sols par les auteurs américains (ROSS et HENDRICKS, 1945 ; JACKSON et Coll., 1952 ; HARRISSON et MURRAY, 1959 ; JACKSON, 1959, 1963).

En résumé, dans les sols nord-aquitains, la montmorillonite est, dans la majorité des cas, "héritée" des formations géologiques au cours de processus pédogénétiques peu dégradants. En outre, des feuillets montmorillonitiques pourraient apparaître en faibles quantités par "transformation" au sommet de certains podzols.

III. – LA KAOLINITE

L'abondance de ce minéral dans les sols est, le plus souvent, liée à celle qu'il présente dans la roche-mère.

Dans la majorité des profils examinés, les proportions de kaolinite varient en effet très peu de la roche-mère à l'horizon superficiel.

Dans certains sols de type évolué, des teneurs plus élevées s'observent cependant au sommet des profils. Il pourrait s'agir ici d'une transformation des autres minéraux, comparable à celles qui ont été décrites par CARROL et HATTAWAY (1954) et par ALTSCHULLER et DWORNIK (1963).

Enfin, les formations éoliennes récentes ne contenant généralement que de faibles quantités de kaolinite, on remarque assez souvent une diminution des teneurs en ce minéral au sommet de tous les profils où se manifestent de tels apports.

Dans la majorité des cas, la kaolinite des sols étudiés ici provient donc du stock initial de la roche-mère. Une certaine proportion pourrait toutefois résulter de l'évolution des autres minéraux.

IV. – LA CHLORITE et ses INTERSTRATIFIES

Elle n'a été rencontrée en quantités importantes que dans les roches-mères de certains profils de montagne. Dans le sol elle est soit détruite, soit dégradée en édifice interstratifié de type chlorite-vermiculite.

Dans les autres profils, la chlorite est toujours peu abondante en raison de la rareté de ce minéral dans les sédiments nord-aquitains. Seules les formations les plus récentes – limons et sables éoliens – contiennent de notables proportions d'interstratifiés chlorite-vermiculite (ALVINERIE, LATOUCHE, THIBAULT, 1965). Dans les sols sus-jacents ces édifices sont partiellement conservés. Il en est de même au sommet des profils où des apports éoliens superficiels se sont produits. Dans ce cas, les feuillets chloriteux constituent un bon indice de l'hétérogénéité des sols.

V.– L'ATTAPULGITE

Il convient de remarquer la présence d'assez fortes proportions d'attapulgite dans une rendzine sur calcaire lacustre (profil n° 1). Ce minéral considéré comme très fragile (MILLOT, 1964) serait donc susceptible de subsister dans les sols peu évolués.

VI.– LES MINERAUX VERMICULITIQUES

Bien que la vermiculite ait été parfois décrite dans les sédiments (CAMEZ, FRANC DE FERRIERE, LUCAS et MILLOT, 1960), elle a été rarement rencontrée dans les roches-mères analysées ici. Elle n'apparaît le plus souvent, ainsi que l'ont constaté divers auteurs (JACKSON, 1959 ; CAMEZ, 1962 ; RICH et COOK, 1963), que dans les horizons supérieurs des sols évolués (sols lessivés, sols podzoliques, certains sols hydromorphes) soit sous forme de vermiculite vraie soit, plus fréquemment, sous forme d'interstratifiés illite-vermiculite ou chlorite-vermiculite.

Comme nous l'avons noté ci-dessus, les édifices vermiculitiques sont fréquents dans les formations quaternaires où ils semblent dériver de la chlorite par dégradation.

Les pourcentages de vermiculite et de ses interstratifiés augmentent donc généralement au sommet des profils soit par suite de l'altération en place des autres minéraux, soit du fait des apports éoliens.

Il faut enfin remarquer que des édifices complexes s'apparentant à des vermiculites gonflantes ont été rencontrés dans divers profils. Leurs affinités avec les minéraux du groupe de la montmorillonite sont mal définies et il pourrait s'agir en fait de termes intermédiaires (cf. par. 2).

VII.– LES CONSTITUANTS AMORPHES

Les horizons supérieurs de la majorité des profils les plus évolués semblent contenir d'importantes proportions de constituants amorphes de type allophane. En effet, les courbes d'analyse thermopondérale de ces niveaux se caractérisent fréquemment par l'absence de tout palier caractéristique et s'apparentent, de ce fait, à celles des allophanes. Ces derniers pourraient donc constituer la majeure partie de ces phases argileuses dont seule une faible proportion conserverait une structure cristalline à peu près normale. Ainsi, la majorité des constituants argileux des sols évolués échapperait aux investigations par diffractométrie de rayons X.

Il convient donc de souligner l'intérêt de l'analyse thermopondérale qui constitue une des rares techniques susceptibles de permettre la mise en évidence des allophanes ; l'apparition de ces derniers au sommet des sols évolués semble être un phénomène très général (LATOUCHE, 1964).

VIII.– CONCLUSIONS

Les sols nord-aquitains doivent être divisés en deux groupes :

1°– Des sols homogènes

Ils sont issus entièrement de l'altération des roches-mères. Les minéraux argileux qu'ils contiennent sont de deux types :

a)– Des minéraux directement "hérités" des roches-mères :

A ce titre, ces minéraux pourraient être qualifiés de "primaires". Ce sont principalement la montmorillonite, l'illite et la kaolinite.

b)– Des minéraux ou des constituants résultant de la "transformation" des minéraux préexistants dans les roches-mères.

Ils pourraient être désignés sous le terme de "secondaires". Parmi ceux-ci, la vermiculite et ses interstratifiés sont les plus fréquents. Dans certains sols, des kaolinites et des édifices gonflants secondaires sont également susceptibles de se développer. Enfin, des quantités importantes de constituants amorphes peuvent apparaître dans les horizons superficiels.

Dans ces sols homogènes, l'évolution générale des minéraux argileux est continue : elle tend toujours à la disparition des minéraux "primaires" les plus fragiles (par ordre d'altérabilité : montmorillonite – chlorite – illite) et à l'apparition de minéraux "secondaires" (vermiculite, allophanes). Dans les sols peu évolués (rendzines, sols bruns calcaires) les modifications sont faibles ou nulles. L'abondance des cations et en particulier du Ca^{++} dans le milieu pédologique freine le lessivage et préserve les silicates. Des minéraux "primaires" fragiles, comme la montmorillonite ou même l'attapulgite, pourront être conservés dans le sol.

Au contraire, lorsque la désaturation du complexe absorbant atteint un stade avancé (sols lessivés, sols podzoliques, podzols) d'importantes modifications de la phase argileuse se produisent. La montmorillonite, la chlorite, puis l'illite diminuent ou disparaissent au sommet des profils ; elles y sont relayées par les minéraux "secondaires" d'autant plus rapidement et abondamment que le sol est plus évolué.

2° – Des sols hétérogènes ou complexes

Dans ces sols, des constituants étrangers anciens ou subactuels d'origines diverses s'ajoutent aux produits issus de l'altération des roches-mères et perturbent le sens général de l'évolution des minéraux dans les profils.

a)– Matériaux d'origine éolienne :

Ils sont fréquents au sommet des sols évolués de type podzolique du Bordelais qui sont situés, soit à la limite d'extension du "Sable des Landes", soit dans diverses aires de dépôts éoliens décrites par : BLAYAC (1913, 1916) ; BALLAND (1936) ; FABRE (1939) ; BASTIN et CAILLEUX (1941) ; ENJALBERT (1949, 1960) ; KLINGEBIEL (1964).

Aux minéraux argileux "primaires" et "secondaires" résultant de l'évolution pédologique normale de la roche-mère, se surajoutent dans ces sols divers minéraux "étrangers" parmi lesquels la muscovite, l'illite et la chlorite sont les plus courants. Ils subissent à leur tour, mais avec un décalage de temps plus ou moins important, une évolution de même type que celle qui a donné naissance au profil. Ce retard explique la présence de minéraux relativement fragiles, peu ou pas altérés, au sommet de sols très évolués.

b)– Matériaux d'origine alluvionnaire ou colluvionnaire :

Leur présence est assez fréquente dans les sols mais leur mise en évidence n'y est pas toujours aisée. L'étude de la fraction argileuse fournit de précieux renseignements et permet en particulier, de saisir l'apparition de minéraux "étrangers" à la roche-mère du sol. C'est ainsi que la contribution des formations miocènes au sein de quelques sols évolués, sur des terrasses sableuses ou graveleuses, a pu être mise en évidence grâce à la présence de montmorillonite, habituellement absente dans les formations locales de terrasses et plus généralement encore dans les sols de type évolué.

Chapitre II

LES PHASES ARGILEUSES DES PROFILS D'ALTERATION DES PRINCIPALES FORMATIONS GEOLOGIQUES NORD-AQUITAINES

Souvent, les phases argileuses des sols nord-aquitains s'apparentent assez étroitement à celles des roches-mères qui les ont engendrées. Dans d'autres cas des modifications sensibles apparaissent, soit sous la seule influence des conditions pédologiques, soit sous l'influence conjuguée de facteurs externes complexes et variés.

Après avoir examiné les aspects généraux et quelques particularités de cette évolution, il est possible de dresser un bilan de la composition et des formes d'altération du matériel argileux des sols issus des principales formations géologiques nord-aquitaines.

Cet inventaire ne peut être cependant que très général en ce sens qu'il repose sur un nombre trop limité de cas. Or, la multiplicité des conditions locales tend à faire de chaque profil un cas particulier.

I. – LES PROFILS D'ALTERATION DES CALCAIRES CRETACES

1° – Les roches-mères

Elles sont constituées en grande majorité de calcaires blanchâtres, crayeux qui affleurent principalement dans les Charentes et en Dordogne. La phase argileuse qu'ils contiennent est toujours très peu abondante et constituée presque exclusivement de montmorillonite bien cristallisée à feuillets de type 15 Å.

2° – Les sols

Les sols développés sur les calcaires crétacés sont variés et fréquemment complexes. Schématiquement, ils peuvent toutefois être divisés en deux grands groupes :

a)– Des rendzines :

Elles apparaissent dans les zones où le calcaire est actuellement soumis directement à la pédogénèse. Ces sols désignés sous les appellations de "banches" ou de "groies" sont cantonnés dans la région de la "Champagne charentaise" et dans celle du "Périgord blanc" en Dordogne.

La phase argileuse de ces sols, très voisine de celle du calcaire, est constituée en grande partie de montmorillonite très peu dégradée et à laquelle sont associées des traces d'illite et de kaolinite.

b)– Des sols bruns calcaires et des rendzines brunifiées :

Ces sols sont particulièrement caractéristiques dans la zone des "Bois charentais". Ils sont développés, non plus directement sur le calcaire, mais sur des formations argileuses brunes de type

"Terra rossa" ou "Terra fusca". Suivant les régions, ces formations sont constituées (CAILLEUX, 1946), soit d'une argile de décalcification ancienne du calcaire crétacé ("brisard" ou "argile à silex"), soit des produits de remaniements de cette argile ("griffé" ou "bief à silex"), soit de sables fins alluvionnaires ou éoliens, soit enfin de limons fins ("terre de varenne"). Dans un même profil, ces formations peuvent se trouver superposées ou plus ou moins mélangées suivant les conditions locales. Diverses phases climatiques ont présidé à leur mise en place qui s'échelonne de la période post-crétacée au Quaternaire ancien.

Les phases argileuses de ces formations sont toujours très riches en **montmorillonite**. Elles sont donc une réplique assez fidèle du calcaire crétacé dont elles semblent toutes dériver plus ou moins directement. Au cours des diverses phases de pédogénèse successives, la composition initiale du matériel argileux n'a donc pas été fondamentalement modifiée. Dans les sols actuels sus-jacents – généralement de type peu évolué – la **montmorillonite** reste dominante. Toutefois, elle est partiellement altérée en interstratifiés illite-montmorillonite et par rapport aux rendzines des terres de champagne, on observe des teneurs légèrement plus élevées en illite et en kaolinite.

II. – LES PROFILS D'ALTERATION DES FORMATIONS EOCENES

1° – Les roches-mères

Elles sont représentées par des assises marneuses et calcaires du Blayais et du Médoc. La composition de leur matériel argileux est très variée (BOUTAUT, KLINGEBIEL, LATOUCHE, 1963), mais l'illite y est toujours un constituant important voire majeur.

Dans les couches marneuses dites à "Ostrea cucullaris", elle est associée à d'assez notables quantités de montmorillonite et à de moindres proportions de kaolinite.

Dans le "**Calcaire de Plassac**", la phase argileuse peu importante est constituée presque exclusivement d'attapulgite et d'illite.

Enfin dans les "**Marnes à Ostrea bersonensis**" l'illite est fortement dominante sur la kaolinite.

2° – Les sols

Ces formations toujours très carbonatées ont fourni des sols peu évolués de type régosol ou rendzine. Dans ces conditions, les phases argileuses de ces sols sont peu différentes de celles des roches-mères. Les minéraux les plus fragiles (montmorillonite, attapulgite) sont même susceptibles de se conserver partiellement dans les horizons superficiels. Leur cristallinité est cependant légèrement altérée. Des interstratifiés illite-montmorillonite y apparaissent et les pourcentages relatifs d'illite augmentent faiblement de la base au sommet des profils.

III. – LES PROFILS D'ALTERATION DES FORMATIONS OLIGOCENES

1° – Les profils d'altération des faciès argileux

Ces faciès argileux, fréquemment cantonnés à la base du "Calcaire à Astéries", sont généralement attribués au Sannoisien. Ils peuvent localement contenir de notables proportions de carbonates. Dans ce cas, la montmorillonite y est fréquemment dominante. De moindres proportions d'illite et de kaolinite complètent le cortège.

Dans les faciès les plus argileux au contraire, l'illite est fortement dominante sur la montmorillonite et la kaolinite.

Les sols issus de ces formations sont d'autant moins évolués que la roche-mère est plus carbonatée : sols bruns calcaires sur marnes – sols bruns légèrement lessivés sur argiles. Les miné-

raux argileux présentent une évolution parallèle. La montmorillonite est fréquemment présente au sommet des premiers, alors qu'elle est détruite dans les seconds où les pourcentages d'illite augmentent de la base au sommet.

2° – Les profils d'altération des faciès molassiques

Ces faciès désignés sous le terme de "Molasse du Fronsadais" sont bien développés en Entre-Deux-Mers et en Libournais. Leur teneur en argile varie entre 10 et 30 % environ. L'illite en est le constituant principal mais des quantités notables de montmorillonite lui sont toujours associées, ainsi que 20 % environ de kaolinite.

Les sols sus-jacents sont de type brun-calcaire. Toutefois, de nombreuses variations pédologiques locales peuvent être observées. Elles sont liées à plusieurs causes :

– Evolution pédologique ancienne de la roche-mère : Fréquemment, la molasse paraît avoir subi diverses phases pédologiques dont les caractères étaient assez sensiblement différents de ceux de l'évolution actuelle. La roche-mère est alors décarbonatée et brunifiée sur plusieurs mètres d'épaisseur et les sols actuels issus de ces assises présentent généralement une évolution assez marquée de type sol brun lessivé.

– Présence d'une nappe peu profonde : Celle-ci provoque alors l'apparition d'indices d'hydromorphie : marmorisation des profils, présence de "grenaille" ferrugineuse dont l'origine ancienne n'est toutefois pas à exclure.

– Couverture éolienne de limons fins : L'enrichissement des horizons superficiels en éléments quartzeux peut alors être considéré à tort comme un indice de lessivage.

L'évolution du matériel argileux est celle décrite pour chacune de ces catégories de sols dans le chapitre précédent. Comme dans la roche-mère, l'illite est dominante et très généralement la montmorillonite voit sa cristallinité et son abondance décroître fortement vers le sommet des profils. Les stades d'évolution de ce minéral sont parfois complexes et les feuillets de type 15 Å des roches-mères sont souvent relayés par des feuillets de type 12 Å ou par des interstratifiés illite-montmorillonite. Les transformations sont d'autant plus importantes que le sol est plus évolué et dans les profils les plus lessivés les teneurs en illite deviennent très importantes. La kaolinite, enfin, ne joue qu'un rôle très secondaire.

3° – Les profils d'altération des assises calcaires

Mises à part quelques formations lacustres très localisées, les calcaires d'âge oligocène sont essentiellement représentés dans le nord de l'Aquitaine par le "Calcaire à Astéries". Par sa puissance et son extension cette formation a eu une influence déterminante sur l'évolution des sols de cette région.

Fréquemment zoogène et détritique, ce calcaire contient des quantités relativement importantes d'argile. Cette hétérogénéité le rend friable et facilement altérable. L'illite est le constituant dominant de sa phase argileuse qui contient, en outre, de moindres proportions de montmorillonite, d'interstratifiés illite-montmorillonite et de kaolinite.

Actuellement le "Calcaire à Astéries" est rarement soumis directement à la pédogénèse. Le plus souvent, les sols qu'il supporte sont issus de formations argilo-sableuses brunes, plus ou moins épaisses, recouvrant le calcaire. Dans la majorité des cas, celles-ci présentent une phase argileuse de composition très voisine de celle du calcaire et semblent donc dériver de ce dernier. Il se pourrait qu'au cours de diverses phases de pédogénèse plus ou moins anciennes le "Calcaire à Astéries" ait fourni une argile résiduelle par décalcification. Les traces de karstification qui s'observent fréquemment au sommet du calcaire semblent le confirmer. Ultérieurement, des remaniements locaux auraient pu provoquer une accumulation des matériaux dans des zones particulières. Ainsi s'expli-

querait, à la fois, l'identité des phases argileuses et l'épaisseur relativement importante de ces formations. Cette épaisseur semble en effet difficilement imputable à la décalcification in situ du calcaire.

Les sols sus-jacents sont de type calcimorphe, la décarbonatation souvent incomplète n'ayant jamais entraîné une décalcification du complexe absorbant. Ce sont donc des rendzines brunifiées ou plus souvent des sols bruns calcaires. Les phases argileuses s'apparentent assez étroitement à celles des roches-mères et l'illite légèrement dégradée y est régulièrement dominante sur la montmorillonite ou les interstratifiés illite-montmorillonite. La kaolinite est toujours peu abondante.

4° - Les profils d'altération des "Sables du Périgord"

Dans les régions du Landais, de la Double et du Petit-Angoumois les "Sables du Périgord" recouvrent presque toujours le "Sidérolithique". Ils sont constitués de puissantes assises de sables grossiers, anguleux, généralement très feldspathiques. La phase argileuse parfois abondante est souvent riche en montmorillonite mais l'illite, et surtout la kaolinite, l'accompagnent toujours en proportions plus ou moins importantes.

Ces formations très perméables et souvent très acides supportent des sols évolués de type lessivé. Etant donné l'hétérogénéité de la roche-mère, il est rare cependant qu'un horizon d'accumulation s'individualise bien nettement. Dans la plupart des cas il est représenté par des veines argileuses brunes plus ou moins obliques dans la masse des sables. Dans ces sols évolués la montmorillonite est partiellement détruite, alors que les proportions d'illite augmentent de la base au sommet des profils. En outre, dans les horizons superficiels, la vermiculite et les édifices interstratifiés sont fréquents. Enfin la kaolinite présente dans la roche-mère reste très abondante dans le sol.

Assez fréquemment des épandages superficiels peu épais s'observent au sommet des profils d'altération. Lorsqu'ils sont constitués de limons fins, peu perméables, l'hétérogénéité granulométrique facilite l'établissement d'une nappe perchée temporaire, au sommet des assises sableuses. Les profils présentent très souvent des indices de marmorisation. L'hydromorphie facilite alors la conservation de la montmorillonite de la roche-mère jusque dans l'horizon superficiel.

Dans d'autres cas, ces épandages sont constitués de sables fins micacés. On observe alors une apparition de chlorite plus ou moins vermiculitisée au sommet des profils.

IV. - LES FORMATIONS MIOCENES ET LEUR INFLUENCE SUR L'EVOLUTION PEDOLOGIQUE NORD-AQUITAINE

Dans le nord de l'Aquitaine, les sédiments miocènes sont principalement représentés par des calcaires, des molasses et des faluns dont la phase argileuse peu abondante est toujours essentiellement montmorillonitique. En surface, ces assises n'ont qu'une extension très réduite et sont masquées presque toujours par des formations récentes.

Les sédiments miocènes sont donc rarement soumis à l'altération. Par contre, dans les zones proches de leurs affleurements, à la limite d'extension du "Sable des Landes" ou des terrasses de la Garonne, ils contribuent fréquemment à l'édification des sols. Drainée à faible distance, soit par alluvionnement soit par colluvionnement, la montmorillonite se retrouve alors dans ces profils complexes. L'étude de la fraction argileuse constitue, dans ce cas, un procédé très intéressant pour la mise en évidence de ces influences.

V. - LES PROFILS D'ALTERATION DES FORMATIONS PLIOCENES

Les terrains attribués au Pliocène sont complexes et variés :

1° - Le Pliocène typique : les graves rouges

Ces formations sont bien développées au sommet des coteaux de "Calcaire à Astéries" de l'Entre-Deux-Mers et du Blayais. Elles sont particulièrement caractéristiques dans la région de BOURG-SUR-GIRONDE où elles sont constituées d'une grave peu grossière, assez fortement argileuse et de couleur brun-rouge. Leur constituant argileux essentiel est la kaolinite. De faibles proportions d'illite lui sont associées.

Par altération, ces formations ont fourni des sols bruns plus ou moins lessivés. Certains d'entre eux présentent même une évolution de type podzolique. Le cortège argileux de la roche-mère étant constitué de minéraux particulièrement résistants se retrouve pratiquement inchangé dans le sol : la kaolinite est toujours très fortement dominante sur l'illite. Dans les profils très évolués seulement, on observe une légère altération vermiculitique de l'illite.

2° - Les autres formations attribuées au Pliocène

Parmi celles-ci, les plus étendues sont constituées par les limons bruns de la région de l'Entre-Deux-Mers. Dans la majorité des cas, ces formations semblent être des produits de remaniements des argiles de décalcification du "Calcaire à Astéries" ou de niveaux calcaires miocènes. Leur phase argileuse à illite nettement dominante sur la montmorillonite et la kaolinite, les apparente en effet assez étroitement à ces argiles. Au contraire elle les différencie nettement des graves argileuses rouges à kaolinite que l'on rencontre au sommet des coteaux, en bordure de la Garonne.

Ces limons supportent des sols évolués de type brun lessivé ou lessivé. L'évolution des cortèges argileux y est celle que l'on rencontre habituellement dans ces sols : disparition de la montmorillonite - augmentation des teneurs en illite - constance de la kaolinite.

VI. - LES PROFILS D'ALTERATION DES FORMATIONS QUATERNAIRES

En raison de leur très vaste répartition dans le nord de l'Aquitaine, les sédiments quaternaires ont joué un rôle primordial dans la pédogénèse. Ces dépôts sont très variés, leur mise en place très complexe, et l'interprétation des sols qui en dérivent est délicate. Il est donc nécessaire, avant d'entreprendre l'inventaire minéralogique des argiles qu'ils contiennent, de donner un résumé de la composition des cortèges argileux des diverses formations quaternaires.

A. - LES ROCHES-MERES QUATERNAIRES

1° - Les sédiments alluvionnaires

D'origine fluviatile, ces sédiments sont essentiellement constitués de galets, de graviers et de sables grossiers mélangés à de faibles quantités d'argile. Localement des lentilles sableuses et argileuses s'observent au sein de cet ensemble. Ces formations couvrent de vastes étendues situées en Médoc et dans la région des Graves.

Les cartes géologiques au 1/80.000me distinguent diverses terrasses dans ces formations :

- Alluvions anciennes (Terrasses supérieures, moyennes et inférieures).
- Alluvions récentes.

Du point de vue lithologique, cette différenciation n'est pas toujours nette sauf pour les alluvions récentes généralement moins graveleuses. L'étude minéralogique des argiles permet toutefois d'individualiser deux ensembles :

a)- Les graves des terrasses supérieures et moyennes :

La kaolinite est généralement dominante et elle se présente le plus souvent sous sa variété hydratée. L'illite de type ouvert et éventuellement la vermiculite, complètent le cortège. Cette association la plus fréquente peut présenter plusieurs variantes :

- dans certaines passées argileuses, nous avons rencontré (CANTENAC) un cortège riche en montmorillonite. La présence de ce minéral est cependant très localisée et constitue un accident dans la sédimentation essentiellement kaolinique.
- dans des argiles rubéfiées témoignant d'une pédogénèse de climat chaud (MARTIGNAS), le cortège argileux reste à kaolinite dominante sur l'illite, mais la cristallinité des minéraux est ici excellente et les teneurs en illite plus importantes.

b)- La terrasse inférieure et les alluvions récentes :

Bien que la terrasse inférieure ait une granulométrie nettement plus grossière que celle des alluvions récentes, la nature des argiles ne diffère pas sensiblement de celle de ces dernières.

L'illite est en effet le constituant majeur. Elle est toujours fortement dégradée et est associée à de notables proportions de chlorite altérée en édifices interstratifiés montmorillonitiques ou plus fréquemment vermiculitiques. La kaolinite n'est présente qu'en faibles quantités.

Cette phase argileuse très différente de celles des terrasses supérieures et moyennes témoigne d'un changement important dans la nature des apports et dans les conditions climatiques de leur genèse. En outre, elle s'apparente à celle du "Sable des Landes" (voir ci-dessous) qui a pu participer à l'édification de ces dépôts.

Localement les alluvions récentes peuvent présenter des cortèges argileux sensiblement différents. Ces particularités sont liées à la nature des terrains environnants qui ont pu partiellement contribuer à l'alluvionnement.

2° - Les formations éoliennes superficielles

a)- Le "Sable des Landes"

Il recouvre toute la partie ouest de la région étudiée. Essentiellement constitué de sable quartzeux éolisé, il contient également quelques paillettes de muscovite ainsi qu'une proportion minime de matériel argileux. Celui-ci, très difficile à étudier, est le plus souvent dégradé. Les diverses analyses que nous avons pu effectuer montrent que les minéraux micacés et la chlorite vermiculitisée en sont les constituants essentiels. Des édifices complexes gonflants leur sont parfois associés. Enfin la kaolinite est toujours présente en faible proportion.

b)- Les limons éoliens :

Dans la partie orientale de la région étudiée et en particulier dans le Bergeracois, les "Sables du Périgord" sont recouverts d'un manteau de limons argileux plus ou moins épais. La fraction fine de ces sédiments est constituée d'illite et de chlorite associée à des édifices vermiculitiques. La kaolinite est peu abondante.

Ce cortège s'apparente donc assez étroitement à celui du "Sable des Landes".

3° - En résumé

Les sédiments d'âge quaternaire du nord de l'Aquitaine peuvent être divisés schématiquement en deux catégories d'après la nature minéralogique de leurs argiles :

a)- Des sédiments kaoliniques :

D'origine fluviatile, ces sédiments grossiers proviennent du démantèlement des couvertures kaoliniques édifiées sous les climats latéritisants de la fin du Pliocène et du Quaternaire ancien.

b)- Des sédiments à minéraux micacés :

Ils correspondent à une deuxième phase d'épandage. Ils ont une origine soit fluviatile, soit éolienne. Parmi ces derniers, les plus grossiers sont cantonnés à la partie occidentale ("Sable des Landes"), alors que les sédiments les plus fins sont entrainés plus à l'est (limons). L'illite et la

chlorite sont, dans les deux cas, les constituants argileux essentiels et leur présence témoigne d'une évolution climatique importante au Quaternaire récent.

Ces observations confirment les résultats obtenus par ailleurs dans la partie sud de l'Aquitaine (ALVINERIE, LATOUCHE et THIBAULT, 1965). Dans cette région la même succession minéralogique a pu y être observée et les arguments archéologiques ont permis de situer à l'interglaciaire Riss-Würm le changement de cortège argileux des limons.

B. – LES SOLS

Les sols parfaitement homogènes, c'est-à-dire issus de l'altération d'une seule roche-mère, sont rares. Dans la plupart des cas, les "graves" des terrasses et une mince couverture de sables éoliens ont participé conjointement à l'édification des sols.

1° – Les sols sur les terrasses supérieures et moyennes

En raison de la perméabilité et de l'acidité des roches-mères, la plupart des sols sont de type lessivé ou podzolique. La phase argileuse généralement très réduite reste essentiellement **kaolinique.** En outre, dans les sols les plus évolués, la **vermiculite** devient un constituant important dans les horizons supérieurs au détriment de l'illite et des micas. Quand exceptionnellement, la montmorillonite est présente dans la roche-mère, elle disparaît rapidement dans le sol. Enfin, tous les minéraux sont généralement très dégradés et une proportion importante de constituants **amorphes** apparaît.

En maints endroits la présence de sables éoliens dans les horizons supérieurs des profils se traduit par une augmentation des teneurs en illite et par une apparition de **feuillets chloriteux.**

2° – Les sols sur "Sables des Landes"

Ils constituent les sols podzoliques et les podzols de la Lande Atlantique. Bien que l'étude de leur fraction argileuse soit difficilement réalisable, il apparaît que celle-ci ne diffère pas sensiblement de celle de la roche-mère. Les minéraux sont toutefois plus dégradés et les interstratifiés chlorite-vermiculite sont assez fréquemment relayés par des édifices complexes gonflants qui représentent probablement l'ultime stade avant la destruction totale des structures cristallines.

3° – Les sols sur limons

L'évolution est ici moins destructive en raison de la texture plus argileuse de la roche-mère. Les profils dépassent en effet rarement le stade du sol lessivé. L'illite et la chlorite de la roche-mère s'altèrent partiellement dans les horizons superficiels en interstratifiés **vermiculitiques** et en **vermiculite.** La kaolinite reste peu abondante dans tout le profil.

4° – Les sols sur alluvions récentes

En raison de leur situation topographique, ces sols sont fréquemment hydromorphes.

Dans la zone d'engorgement par la nappe, la composition de la phase argileuse reproduit assez fidèlement celle de la roche-mère et généralement l'illite et la chlorite, partiellement interstratifiées avec la vermiculite, en restent les constituants principaux. Au contraire, dans la partie aérée du profil une évolution de type podzolique se développe et la vermiculite, fréquemment de type gonflant, devient abondante.

Chapitre III

IMPORTANCE RELATIVE DES DIVERS MINERAUX ARGILEUX DANS LA CAPACITE D'ABSORPTION DES SOLS

Les divers constituants argileux des sols n'ont pas, du point de vue agronomique, la même importance (DOWDY et HUTCHESON, 1963 ; RICHARDS et MAC LEAN, 1963 ; TUCKER, 1964). En effet, leur capacité d'absorption vis-à-vis des cations fertilisants varie considérablement d'un minéral à l'autre. Pour les trois principaux constituants argileux, DEMOLON (1952) donne les chiffres moyens suivants :

	Capacité d'échange (milliéquivalent pour 1 gramme)
Montmorillonite	1
Illite	0,3 à 0,5
Kaolinite	0,1

Ainsi la montmorillonite présente donc une capacité d'échange deux à trois fois plus importante que l'illite et dix fois supérieure à celle de la kaolinite. A ce titre, elle est considérée comme un minéral susceptible de réaliser une importante mise en réserve d'éléments fertilisants. En outre, sa structure en feuillets ouverts permettrait une restitution aisée des cations "absorbés".

L'illite au contraire est moins absorbante. Elle fixerait préférentiellement le potassium (CAMEZ, 1962) qui, entrant partiellement dans sa structure, ne serait plus ensuite aisément échangeable. Ce phénomène a été décrit sous le nom de "rétrogradation" par CHAMINADE (in CAMEZ, 1962).

Dans ce travail, nous avons donc essayé de rechercher l'influence que pouvait avoir la nature des minéraux argileux sur les propriétés du complexe absorbant. En particulier, il était intéressant d'étudier la disponibilité des sols en potassium qui est généralement considéré comme l'élément fertilisant essentiel. Les analyses effectuées dans ce but concernent principalement les sols de vignoble. Elles portent sur un ensemble de 20 profils dont les teneurs en potassium sont très variables.

I. – METHODES D'ETUDE

Pour chacun des horizons analysés, les teneurs en potassium assimilable ont été successivement comparées aux proportions (1) de chacun des trois principaux minéraux constitutifs des phases argileuses (montmorillonite, illite, kaolinite). La réalisation de l'ensemble de ces mesures est délicate car de nombreuses sources d'erreurs peuvent intervenir :

1. Si p est le pourcentage de phase argileuse contenue dans la terre fine ;
   x, y, z les pourcentages respectifs de montmorillonite, d'illite et de kaolinite dans cette phase argileuse ;
   Ces mêmes pourcentages par rapport à la totalité de la terre fine seront : px ; py ; pz.

– Erreurs sur l'estimation quantitative de la fraction argileuse contenue dans la terre fine.

– Erreurs importantes sur l'appréciation des teneurs de la phase argileuse en ses divers constituants.

– Erreurs sur les dosages du potassium assimilable. Elles sont inhérentes à la technique d'analyse au photomètre et surtout au procédé d'extraction.

Quoi qu'il en soit, ces erreurs sont du même ordre de grandeur pour tous les minéraux et pour tous les dosages. Si donc, l'un des constituants des argiles fixe et restitue préférentiellement le potassium, des relations plus étroites avec ce dernier doivent apparaître plus nettement pour ce minéral que pour les autres.

Les résultats d'analyse sont consignés dans le tableau ci-dessous :

PROFILS	TYPES GENETIQUES	N°	Hor.	K^+ m.é.	POURCENTAGES EN ARGILES		
					M	I	K
BLAYE	Régosol	6	A	0,87	T	29,3	12,4
			C	0,63	6,6	39,7	20
MONTAGNE	Rendzine	7	A	0,91	0	21,2	5,5
			B	0,87	2,2	15,2	4,5
			C	0,59	4,9	16	3,7
MONTAGNE	Sol brun calcaire	8	A	1,64	0	15	4
			B	0,44	3,2	3,6	4
			C	0,35	13	4,6	5,2
GEMOZAC	Sol brun	-	A	0,38	3,3	4	3,9
			B	0,36	6,6	7,7	7,7
			C	0,53	22,8	23	23,7
PUJOLS	Sol brun calcaire	10	A	0,77	10	22	8
			B	0,48	21	30	9
			C	0,54	22,2	27,8	5,6
St ESTEPHE	Sol brun calcaire	11	A	0,46	0	16,1	8
			B	0,40	0	19,6	10,2
			B(C)	0,35	3,9	19,7	11,8
			C_1	0,42	9	22,7	13,6
			C_2	0,27	25,5	12,9	12,8
ILLBARITZ	Sol brun calcaire	12	A	0,53	12,7	12,7	3,2
			B	0,37	33,7	19,6	2,8
			C	0,20	32,8	11,7	1
MONTUSSAN	Sol brun calcaire	13	Ap	0,59	8,3	16,7	2,8
			Ap(B)	0,23	12,2	16	4,8
			B	0,32	13	13,8	4,6
			C	0,10	2,5	2,5	1,2
LALANDE	Sol brun calcaire	14	A	0,28	3,4	9,3	4,7
			B	0,30	6,4	17,6	2
			C	0,32	8,4	18,5	6,7
LA BREDE	Sol alluvial	16	A	0,14	7,6	5,7	4,7
			B	0,14	4,6	2,8	2
			C	0,08	16	1	1

PROFILS	TYPES GENETIQUES	N°	Hor.	K^+ m. é.	POURCENTAGES EN ARGILES		
					M	I	K
ESPIET	Sol brun lessivé	19	Ap	0.46	0	7.6	1.9
			A_2	0.25	0	11.2	2.8
			B	0.28	4.1	17.9	5.5
			C	0.24	4.1	16.5	7
MOMBRIER	Sol légèrement lessivé	22	Ap	0.17	0	6.4	16.3
			ApB	0.15	0	9.3	12
			C	0.14	0	4.8	28
MOMBRIER	Sol lessivé	21	Ap	0.14	0	2.5	8.2
			Ap(B)	0.14	0	5.4	18.9
			B	0.12	0	9.6	22.4
			C	0.11	0	7.7	16.3
CANTENAC	Sol lessivé	26	Ap	0.11	0.5	3.8	4
			B	0.18	8	8	4
			C	0.20	6	6	4.5
CANTENAC	Sol lessivé	-	A	0.22	10.8	8.4	4.8
			C	0.08	1.3	3.2	8.5
St ESTEPHE	Sol lessivé	-	A_0	0.19	1	9.5	4.4
			A_1	0.09	1	5	3.2
			A_2	0.11	5.2	6	3.8
			B	0.15	10.4	11.7	7.4
			C	0.22	23.5	13.2	9.4
BEAUTIRAN	Sol ocre podzolique	28	A	0.08	0	0	1
			B	0.08	0	0	1
			C	0.08	0	1.2	1
BLANQUEFORT	Sol podzolique à gley	32	A_1	0.14	0	4.5	1.3
			A_2	0.06	1.7	2.8	1.1
			B	0.07	2.7	4.5	1.8
			G	0.08	2.1	4	2
BLANQUEFORT	Sol à gley	35	A_1	0.06	0	1	2.6
			G_1	0.07	0	3.4	0
			G_2	0.07	0	2.8	0
LACAPELLE-VIESCAMP	Sol de montagne	39	A_0A_1	0.22	0	0	4.6
			A_1(B)	0.37	0	6.7	11

Afin de mieux illustrer les relations pouvant exister, ces résultats ont été reportés sur trois graphiques à coordonnées logarithmiques. A chacun des trois minéraux correspond ainsi une des figures suivantes :

Les teneurs en argile ont été portées sur l'axe des abcisses, celles en potassium sur l'axe des ordonnées. Les points blancs correspondent aux horizons superficiels riches en matière organique. A chacun des autres horizons correspond un point noir.

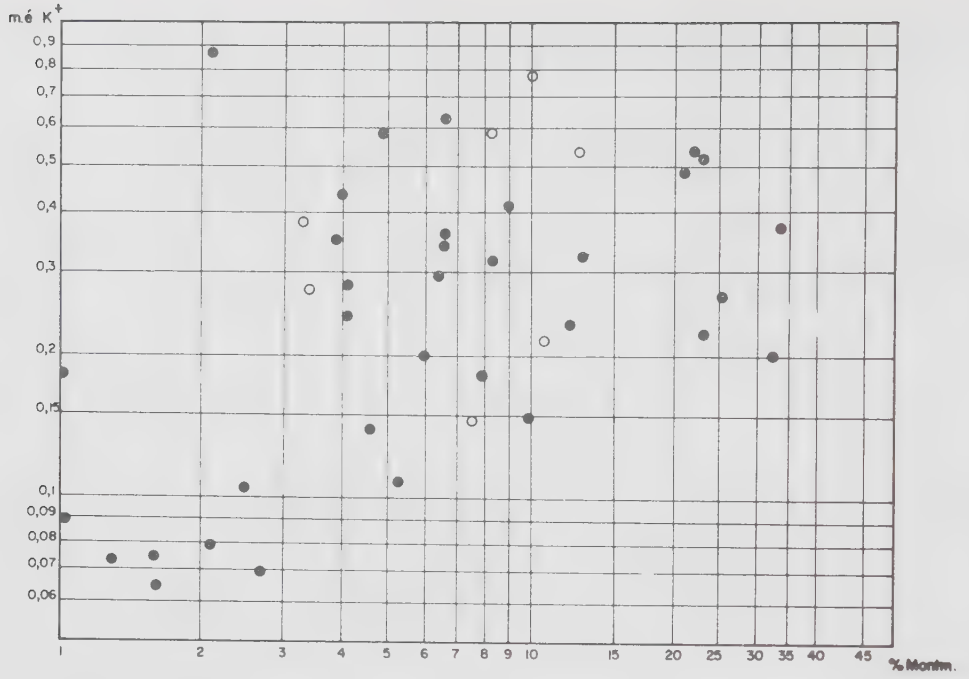


Fig. 49. TENEURS EN POTASSIUM ASSIMILABLE ET POURCENTAGES EN MONTMORILLONITE

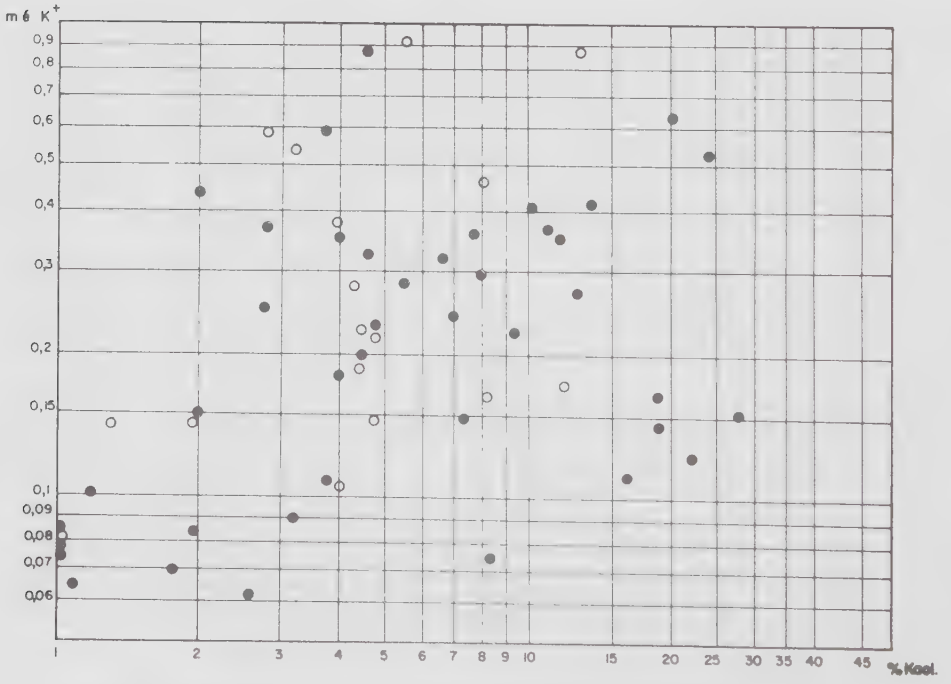


Fig. 50. TENEURS EN POTASSIUM ASSIMILABLE ET POURCENTAGES EN KAOLINITE

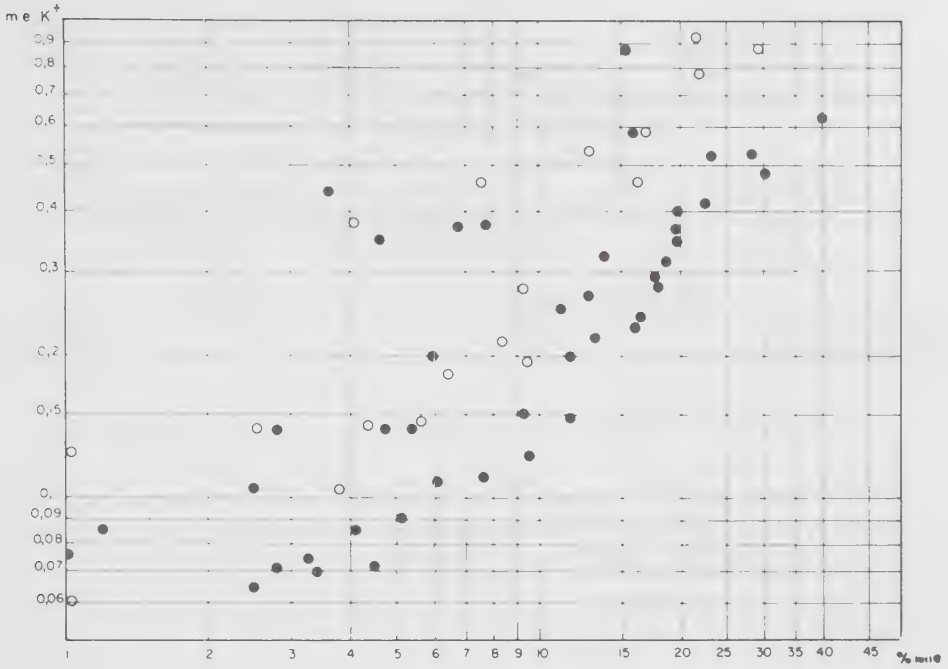


Fig. 51 TENEURS EN POTASSIUM ASSIMILABLE ET POURCENTAGES EN ILLITE

II. – EXAMEN DES RESULTATS

Pour la montmorillonite et plus encore pour la kaolinite, on remarque une très grande dispersion des points. Aucune relation ne semble donc exister entre la teneur d'un sol en ces minéraux et sa disponibilité en potassium échangeable.

Au contraire un très net alignement des points apparaît sur le graphique correspondant à l'illite. Les seuls cas apparemment aberrants concernent presque toujours des horizons superficiels riches en matière organique et présentant de ce fait une capacité d'échange élevée. Un lien très étroit apparaît donc entre la teneur d'un sol en illite et sa disponibilité en potassium.

III. – CONCLUSIONS

Les résultats obtenus ici permettent donc de tirer les conclusions suivantes :

1° – La kaolinite

Elle n'a pratiquement pas d'influence sur la dynamique du potassium dans les sols. Sa très faible capacité d'échange est évidemment responsable de ce comportement.

2° – La montmorillonite

En dépit de sa très forte capacité d'échange, elle ne semble pas directement responsable de la disponibilité des sols en potassium. Cet élément serait donc moins facilement fixé par les montmorillonites que les autres cations (Ca^{++} ou Mg^{++} par exemple). Il se pourrait aussi qu'ayant été fixé, il ne soit ensuite restitué que partiellement (phénomène de rétrogradation) suivant les caractères physico-chimiques du sol.

3° – L'illite

Au contraire, l'illite contrôlerait étroitement la disponibilité des sols en potassium. En effet, elle serait non seulement susceptible de fixer d'importantes quantités de potassium mais elle paraît également capable d'en restituer une forte proportion.

De récents essais de mise en culture de sols divers ont d'ailleurs montré l'influence prédominante des argiles illitiques sur l'assimilation potassique des plantes (BLANCHET, GUYOT, CHAUSSIDON, 1965).

Il semble donc que dans le domaine assez controversé de la dynamique du potassium dans les sols, le rôle prépondérant fréquemment accordé à la montmorillonite pour la mise en réserve de cet important élément fertilisant, ait été surestimé.

Chapitre IV

LES PHASES ARGILEUSES DES SOLS DU VIGNOBLE GIRONDIN

Une grande partie des profils étudiés dans le cadre de ce travail provient de régions viticoles. Il est donc apparu intéressant de consacrer un chapitre à l'étude comparative des phases argileuses des principaux sols du vignoble girondin.

I. – LA REGION DES "GRAVES" DE BORDEAUX

La grande majorité des sols de ce vignoble est implantée sur les formations très graveleuses des terrasses anciennes. Il s'agit presque toujours de sols évolués de type lessivé ou podzolique.

La phase argileuse est extrêmement réduite dans tous les horizons et représente rarement plus de 5 % de la terre fine. La kaolinite en est le constituant essentiel mais, dans les profils très évolués (BEAUTIRAN par ex.), la totalité des minéraux micacés est dégradée et la vermiculite devient alors très abondante.

Enfin, et ainsi que nous l'avons décrit ci-dessus, la montmorillonite peut être rencontrée dans les sols situés au voisinage des affleurements miocènes (PESSAC).

En raison de leur extrême pauvreté en argile, ces sols présentent en général une capacité d'échange très faible. Cependant, leur complexe absorbant est rarement saturé ainsi qu'en témoignent les pH très fréquemment acides. Il semble que ce fait soit attribuable à la présence de vermiculite qui constitue un "véritable piège à potasse" (CAMEZ, 1962) qu'il est difficile de saturer.

II. – LE MEDOC

1° – Sols sur terrasses

La quasi totalité des vignobles de grands crus classés du Médoc est établie sur les alluvions anciennes de la Garonne et en particulier sur la terrasse cartée a_1b. Les sols ont donc hérité de la roche-mère une texture très grossière et sont fortement graveleux et pauvres en argile. Il s'agit presque toujours de sols lessivés.

Etant issus des terrasses, les cortèges argileux des sols sont donc principalement constitués de kaolinite associée à de faibles quantités d'illite. Leurs capacités d'échange sont par conséquent très faibles et leurs teneurs en K^+ assimilable toujours très réduites (de l'ordre de 0,2 m.é.). Cependant en raison du faible pouvoir absorbant des kaolinites, la saturation est souvent presque atteinte. De ce fait, les pH sont relativement peu acides.

Localement (CANTENAC), la montmorillonite peut être un constituant important de la roche-mère. Dans l'horizon superficiel, elle est cependant relayée par la kaolinite.

2° - Sols sur formations tertiaires

Dans la région de SAINT-ESTEPHE, certains vignobles sont implantés sur des formations calcaires ou marneuses éocènes et oligocènes : "Formation de SAINT-ESTEPHE", marnes sannoisiennes, "Calcaire à Astéries". Les sols sont alors de type brun calcaire, parfois légèrement lessivé. La composition du matériel argileux, toujours très abondant, est très différente de celle des sols de terrasses. La montmorillonite dans la roche-mère, puis l'illite dans les horizons supérieurs, sont généralement les constituants dominants sur la kaolinite. Parallèlement, la capacité d'absorption de ces sols est toujours élevée ; enfin, leurs teneurs en potassium assimilable importantes (0,50 m.é. environ) semblent liées à l'abondance de l'illite.

3° - Sols complexes

Certains vignobles de qualité inférieure sont implantés sur des sols complexes résultant de l'altération de plusieurs roches-mères. Les argiles de décalcification du "Calcaire à Astéries", la grave de la terrasse et le "Sable des Landes" ont participé conjointement à l'édification de ces sols de couleur généralement brune (cf. SAINT-SAUVEUR, Gironde). La phase argileuse, souvent uniformément constituée d'illite légèrement dominante sur la kaolinite, semble issue principalement de l'argile de décalcification. Cette composition, ainsi que la nature du complexe absorbant, peuvent toutefois varier considérablement suivant la participation plus ou moins importante de chacune des roches-mères.

III. - LE BLAYAIS ET LE BOURGEAIS

1° - Les sols sur graves pliocènes

Les vignobles de coteaux, en particulier dans la région de BOURG-SUR-GIRONDE, sont installés sur les graves rouges attribuées au Pliocène. Ces formations, légèrement plus riches en argile que les graves médocaines, ont fourni des sols bruns lessivés ou plus rarement des sols lessivés ou podzoliques. La composition de leur fraction argileuse est peu différente de celle de la roche-mère et la kaolinite est toujours très fortement dominante sur l'illite. Dans les sols les plus évolués, cette dernière s'altère au sommet des profils où de faibles quantités de vermiculite peuvent alors apparaître.

La capacité totale d'échange de ces sols est évidemment assez réduite en raison de la nature kaolinique des argiles. Les teneurs en éléments fertilisants assimilables sont faibles (K^+ : 0,15 à 0,20 m.é.). Toutefois, comme dans les sols sur graves du Médoc, le complexe absorbant n'est que faiblement désaturé et généralement les pH sont voisins de la neutralité.

2° - Sols sur formations éocènes et oligocènes

Sur le flanc de l'anticlinal de BLAYE et en diverses autres régions du Blayais et du Bourgeais, les sols de vignobles se sont développés sur des sédiments éocènes et oligocènes. Ces sols, généralement argileux, sont de type calcimorphe. L'illite est le constituant principal de la phase argileuse. La montmorillonite et l'attapulgite dans les sols sur Calcaire de Plassac peuvent lui être associées. La kaolinite y est toujours peu abondante.

La capacité d'échange de ces sols est élevée et le complexe absorbant est généralement saturé en Ca^{++}. Les teneurs en K^+ assimilable sont élevées (BLAYE : 0,6 à 0,9 m.é.) en raison, semble-t-il, des fortes proportions d'illite dans les phases argileuses.

IV.- L'ENTRE-DEUX-MERS

1°- Les sols sur graves pliocènes

Les graves pliocènes sont fréquentes dans la région de l'Entre-Deux-Mers. Bien développées en particulier le long de la rive droite de la Garonne, elles ont fourni les sols de la région viticole des "Premières-Côtes". Dans le cadre de ce travail, nous n'avons pas effectué d'analyses de ces sols, mais nous avons eu par ailleurs maintes fois l'occasion de contrôler l'identité de composition des roches-mères avec celles des graves du Blayais. Il y a donc lieu de penser que les phases argileuses des sols sont elles-mêmes semblables.

2°- Les sols sur molasse

En divers points de l'Entre-Deux-Mers, la "Molasse du Fronsadais" (Oligocène) constitue la roche-mère des sols de vignoble de type brun calcaire ou faiblement lessivé. La phase argileuse y est toujours très riche en illite. D'assez faibles proportions de montmorillonite et de kaolinite lui sont associées.

La capacité d'échange de ces sols est élevée et leur teneur en K^+ assimilable varie entre 0,3 et 0,6 m.é.

3°- Les sols sur calcaire

Par décalcification, les calcaires oligocènes et miocènes paraissent avoir fourni une argile résiduelle qui a subi ultérieurement divers remaniements. En outre, des dépôts éoliens divers (limons) ont pu être mélangés à cette argile.

Les sols issus de ces formations sont de type brun calcaire ou faiblement lessivé. Ils supportent la majorité du vignoble de l'Entre-Deux-Mers.

L'illite y est toujours dominante et elle est particulièrement abondante dans les sols très limoneux. La montmorillonite est fréquente dans les sols établis sur l'argile de décalcification. Elle est pratiquement absente dans les limons. La kaolinite est toujours peu représentée.

Le calcium issu du calcaire sature généralement le complexe absorbant de ces sols, qui, par ailleurs, s'avèrent riches en potassium assimilable (0,30 à 0,80 m.é. à PUJOLS et ESPIET) en raison de l'abondance de l'illite.

V.- LA REGION DE SAINT-EMILION

La grande majorité des sols de cette région est issue des calcaires oligocènes. Lorsque ces derniers ont été directement altérés, ils ont fourni des terres de rendzines. Dans d'autres zones les sols reposent sur une argile de décalcification du calcaire et sont de type sol brun calcaire.

Dans tous les cas, l'illite est dominante ; la montmorillonite est présente à la base des profils et la kaolinite peu abondante.

Ici encore la capacité d'échange est élevée et les teneurs en K^+ assimilable importantes (MONTAGNE : 0,6 à 1,6 m.é.).

VI. – CONCLUSIONS

L'étude des minéraux argileux des sols du vignoble girondin permet donc de diviser ces derniers en deux groupes essentiels :

– **Les uns sont issus de formations graveleuses généralement peu argileuses** : Graves – Médoc – Côtes de Bourg, Premières-Côtes. Ces sols sont toujours très évolués et de type lessivé, voire podzolique. Leurs pH sont généralement plus ou moins acides. Les minéraux argileux sont le plus souvent de type résistant : kaolinite dominante sur l'illite. Dans les sols les plus évolués, des minéraux d'altération comme la vermiculite sont liés à la kaolinite (région des "Graves" en particulier).

Les cortèges à composante essentiellement kaolinique ont une capacité d'échange très faible et de ce fait le complexe absorbant est presque saturé. Dans les sols vermiculitiques au contraire, la saturation n'est jamais atteinte ce qui se traduit fréquemment par des pH très acides.

– **Les autres sont issus de formations marneuses molassiques ou calcaires** : Marnes, calcaires et molasses éocènes et oligocènes du Blayais, du Médoc, de l'Entre-Deux-Mers ainsi que de la région de SAINT-EMILION. Les sols y sont généralement de type calcimorphe ; leurs teneurs en argile sont élevées, leurs pH basiques.

L'illite y est toujours dominante, la kaolinite peu abondante. Enfin, la montmorillonite y est fréquente à la base des profils et souvent présente dans les horizons superficiels.

Ces sols ont une capacité d'échange élevée et sont souvent saturés en Ca^{++}. En outre, leur richesse en illite semble responsable de leur forte teneur en K^{+} assimilable.

Chapitre V

CONCLUSIONS GENERALES

L'étude qui vient d'être présentée a permis de retrouver parmi les sols nord-aquitains la plupart des grands types génétiques de la zone tempérée. Cependant, des particularités nombreuses et variées sont fréquemment apparues en raison :

- De la complexité des roches-mères.

- De la présence de l'importante couverture éolienne des "Sables des Landes" et de limons dont des témoins lointains et discrets ont été souvent retrouvés au sommet des profils.

- Des remaniements résultant des travaux culturaux et des modifications provoquées par les amendements et les fumures.

Cette diversité tient par ailleurs au fait que la plupart des sols actuels résultent de phases évolutives multiples, engendrées sous des climats différents et parfois antagonistes. L'existence de paléosols ferralitiques en constitue un témoignage éloquent. Mais, dans la plupart des cas, ces changements climatiques ne se sont pas traduits par une rupture brutale et les profils examinés actuellement représentent la "somme" de plusieurs phases pédologiques successives.

L'étude des minéraux argileux aboutit aux mêmes conclusions et permet une analyse fine des phénomènes complexes intervenant dans la formation des sols. Dans la majorité des cas, l'origine des phases argileuses rencontrées, ainsi que l'évolution qu'elles présentent dans les profils, sont celles qui ont été décrites dans les types génétiques spécifiques correspondants :

- Simple "héritage" des argiles de la roche-mère dans les sols peu ou pas évolués.

- "Transformations" de plus en plus importantes à mesure que l'altération se fait de plus en plus accusée : disparition des minéraux fragiles, apparition de minéraux nouveaux. Dans les sols de type podzolique, il semble enfin qu'une part importante de la phase argileuse passe à l'état amorphe.

Parallèlement, les facteurs "para-pédologiques" (apports éoliens, "contaminations" diverses) peuvent modifier assez sensiblement cette évolution naturelle et se traduire par l'apparition de minéraux étrangers. Dans tous les cas, la phase argileuse s'avère être un indicateur très sensible de l'état d'évolution et de complexité des sols.

La composition des argiles des profils d'altération des diverses formations géologiques venant à l'affleurement découle naturellement de l'ensemble de ces phénomènes et l'interprétation de leur inventaire s'en trouve facilitée. C'est ainsi que les calcaires et les marnes ont fourni des sols peu évolués dont les phases argileuses reproduisent assez fidèlement celles des roches-mères. Les formations très détritiques au contraire supportent des sols lessivés ou podzoliques dans lesquels les minéraux

de transformation et les constituants amorphes remplacent toujours les minéraux les plus fragiles. Entre ces extrêmes, tous les intermédiaires peuvent être rencontrés suivant :

- La nature pétrographique de la roche-mère.
- L'état d'évolution des sols.
- La participation plus ou moins importante des éléments allochtones.

L'étude parallèle des phases argileuses et du complexe absorbant des sols a fait apparaître des liens étroits entre les teneurs en illite et en potassium assimilable. Les relations qui ont pu ainsi être mises en évidence, pour des sols très diversement pourvus en potassium (naturellement et artificiellement), semblent prouver que les phénomènes de rétrogradation attribués à l'illite ne sont peut-être pas aussi importants qu'on pouvait le craindre.

Des recherches plus poussées dans ce domaine pourraient conduire en particulier à une meilleure connaissance des possibilités culturales des terrains supportant le vignoble girondin. Elles exigeraient une étude plus systématique du matériel argileux des sols des grandes régions viticoles. Bien qu'en nombre trop restreint, les cas examinés ici font ressortir une grande diversité de composition. C'est ainsi qu'ils permettent d'opposer schématiquement les sols graveleux kaoliniques du Médoc et du Blayais aux sols vermiculitiques de la région des "Graves" et aux sols argileux illitiques de l'Entre-Deux-Mers et de la région de Saint-Emilion. Cette diversité pourrait être l'une des causes principales de l'étonnante variété de vins produits par le département de la Gironde. Il s'agit là d'une question débordant le cadre de cette étude mais qui mériterait un examen approfondi. Cela nécessiterait une connaissance détaillée des phases argileuses des sols girondins dont le présent mémoire ne peut fournir qu'une idée très générale.

BIBLIOGRAPHIE

ABDEL HALIM S.M. (1932)

Contribution à l'étude du sol du Médoc (France) et du sol égyptien.
Thèse Doct. Université. Bordeaux – n° 12 – 84 p.

ALEXANIAN C., ROUGE P.E., VATAN A. (1954)

Progrès récents dans l'étude minéralogique des roches sédimentaires à grain fin.
Revue I.F.P. vol IX – p. 243/261.

ALTSCHULER Z.S., DWORNIK E.J. (1963)

Transformation of montmorillonite to kaolinite during weathering.
"Science", vol. 141 – p. 148/152.

ALVINERIE J., LATOUCHE C., THIBAULT C. (1965)

Contribution par l'étude des minéraux lourds et argileux à l'interprétation stratigraphique du Quaternaire des Landes méridionales.
C.R. Som. Soc. Géol. France, Séance du 5 avril 1965, p. 123.

AUBERT G., DUCHAUFOUR Ph. (1956)

Projet de classification des sols.
VIme Congrès Intern. Sc. du Sol. Paris, 1956, V, 97, vol. E, p. 597/604.

BALLAND R. (1936)

Observations géologiques dans la vallée de la Jalle de Saint-Médard.
P.V. Soc. Linn. Bordeaux, 16 décembre 1936 – p. 1/69, 5 fig.

BAREN Van J. (1928)

Microscopical, physical and chemical studies of limestones and limestone-soils from the East Indian Archipelago.
Medeleelingen van de Landbouwhoogeschool te Wageningen, 32, Vehr 7 – 186 p.

BASTIN A. et CAILLEUX A. (1941)

Action du vent et du gel au Quaternaire dans la région bordelaise.
Bull. Soc. Géol. France, 5, XI – p. 259/266.

BAUDRIMONT A. (1873)

Constitution et composition chimique des différents sols du département de la Gironde.
Actes Soc. Sc. Phys. Nat. Bordeaux – T 9.

BLANCHET R., GUYOT J., CHAUSSIDON J. et al. (1965)

Influence prédominante des argiles illitiques sur l'alimentation potassique des plantes dans divers

types de sols.
Ann. Agron. Fr., t. 16, n° 2 – p. 177/202.

BLAYAC J. (1913)

Relation des sables des Landes avec les terrains de la Garonne.
C.R. Acad. Sc. Paris, 157 – p. 1483/1485.

BLAYAC J. (1916)

Contribution à l'étude du sol des Landes de Gascogne.
Ann. de Géogr. XXV – p. 23/46.

BOUTOT B., KLINGEBIEL A., LATOUCHE C. (1963)

Le matériel argileux des formations éocènes de l'anticlinal de Blaye (Gironde).
P.V. Soc. Linn. Bordeaux, 8 juin 1963, vol. 100 – p. 87/90.

BRADLEY W.F. (1940)

The structural scheme of attapulgite.
Amer. Min., v. 25 – p. 405/410.

BRADLEY W.F. (1954)

X-ray criteria for the characterization of chloritic minerals in sediments.
Proc. of the second nat. conf. on clays and clay minerals, Publ. 327, Nat. Acad. of Sc. Nat. Res. Council. Ada Swineford. Edit. p. 324/334.

BRINDLEY G.W. (1961)

Kaolin, serpentine, and kindred minerals.
in Brown, 1961.

BROWN G. et MAC EWAN D.M.C. (1950)

The interpretation of X-ray diagrams of soil clays.
II : Structures with random interstratification.
J. Soil Sc., vol. I – p. 239/253.

BROWN G. (1955)

Effect of isomorphous substitution on intensities of 001 reflections of mica.
Mineral Mag., 30 – p. 657/665.

BROWN G. (1961)

The X-ray identification and crystal structures of clay minerals.
Min. Soc. (Clay Minerals Group), London, 544 p.

CAILLERE S. et HENIN S. (1964)

Minéralogie des argiles.
Masson et Cie Ed., Paris – 343 p.

CAILLEUX A. (1946)

Les formations superficielles de la feuille de Saintes.
Bull. Serv. Carte Géol. France, t. XLVI, n° 22 – p. 131/137.

CAMEZ Th., LUCAS J. et MILLOT G. (1959)

Minéraux argileux interstratifiés dans certains sols et leur évolution.
Bull. Gr. Fr. des Argiles, t. XI – p. 43/47.

CAMEZ Th., FRANC DE FERRIERE P.J.J., LUCAS J. et MILLOT G. (1960)

Sur l'importance de la vermiculite dans certains sols tempérés et dans les dépôts du Quaternaire ancien.
C.R. Acad. Sc., t. 250 – p. 3038/3040.

CAMEZ Th. (1962)

Etudes sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées.
Mem. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., n° 20 – 90 p.

CARROL D. et HATTAWAY J.C. (1954)

Clay minerals in a limestone profile.
Clays and clay minerals. Proc. of the second Nat. Conf. on clays and clay minerals, Publ. 327, Nat. Acad. of Sc. Nat. Res. Council. Washington p. 171/182.

COURAU M. (1962)

Etude des sols d'un domaine de l'Entre-Deux-Mers.
D.E.S. Bordeaux 1962.

DAGUIN F. (1948)

L'Aquitaine occidentale.
Actualités scientifiques et industrielles, Hermann et Cie Ed., Paris, 239 p., 24 fig., 4 pl.

DELMAS J. et DARTIGUES A. (1962)

Etude des sols du département des Landes.
Bull. A.F.E.S., n° 8 – p. 420/425.

DELMAS J., DUTIL P. (1964)

A propos d'une unité pédologique dans les Basses-Pyrénées. Les sols de "touyas" développés sur le flysch crétacé du piémont pyrénéen. Caractères généraux et conditions de mise en valeur.
Sci. sol. Fr., n° 2 – p. 43/52.

DEMOLON A. (1952)

Principes d'agronomie, 1 : la dynamique du sol.
Dunod. Ed. Paris.

DOWDY R.H. et HUTCHESON T.B. Jr. (1963)

Effect of exchangeable potassium level and drying on release and fixation of potassium by soils as related to clay mineralogy.

Soil Sc. Soc. of America Proceedings, vol. 27 – p. 31/34.

DRISKELL B.N. (1955)

Chemical, physical and mineralogical properties of certains soil profiles in the lower Mississipi delta. Proc. of third Nat. Conf. on clays and clay min., Publ. 395, Nat. Ac. of Sc. Nat. Res. Council. Washington – p. 384/388.

DUCHAUFOUR Ph. (1960)

Précis de pédologie.
Masson et Cie Ed. Paris – 438 p.

DUTIL P. et JUSTE C. (1964)

Phytotoxicité de l'aluminium dans les sols des Landes en relation avec la présence d'alios à faible profondeur.
C.R. Ac. Agr. de France, t. 50, n° 5 – p. 434/441.

ENJALBERT H. (1949)

Les loess et les limons d'origine éolienne dans le Bassin Aquitain.
Sédimentation et Quaternaire de France – p. 239/246 Ledsam Edit. Bordeaux.

ENJALBERT H. (1960)

Les Pays Aquitains. 1ère Part. Le modelé et les sols.
Imprimerie Bière. Bordeaux – 618 p.

ERHART H. (1956)

La genèse des sols en tant que phénomène géologique.
Masson et Cie. Ed. Paris. – 83 p.

FABRE A. (1939)

Les terrains de revêtement du Médoc.
Drouillard imp. Bordeaux – 344 p.

FLEURANCE A. et NICOLAS J. (1964)

Observations sur la notion d'ordre et de désordre de certains minéraux du groupe de la kaolinite.
Bull. Gr. Fr. des Argiles. T. XIV, n° 9 – p. 149/162.

FRANC DE FERRIERE P.J.J., MILLOT G. et CAMEZ Th. (1959)

Argiles des sols de formations tertiaires et quaternaires d'Aquitaine.
Bull. A.F.E.S., n° 11, nov. 1959 – p. 512/526.

FRANC DE FERRIERE P.J.J. (1962)

Minéraux argileux de quelques sols de plantations fruitières du Lot-et-Garonne, de la Dordogne et de la Gironde.
Bull. A.F.E.S., n° 10, oct. 1962 – p. 456/466.

GRIM R.E. (1953)

Clay mineralogy.
Mac Graw Hill Book Comp. Inc. New-York – 384 p.

GRIM R.E. (1962)

Applied clay mineralogy.
Mac Graw Hill Book Comp. Inc. New-York – 422 p.

GUICHARD J. (1963)

Note préliminaire sur l'étude des limons quaternaires du Bergeracois (Dordogne).
Bull. Soc. Géol. France 7, V, 1963 – p. 495/507.

HARRISSON J.L. et MURRAY H.H. (1959)

Clay mineral stability and formation during weathering.
Proc. of the Sixth. Nat. Conf. on clays and clay minerals. Ada Swineford Editor. State Geol. Surv., University of Kansas – p. 144/153.

HENIN S. (1947)

La formation des argiles et la pédologie.
C.R. de la Conf. de Pédologie Méditer. Alger Montpellier 1947. Bull. A.F.E.S. – p. 97/108.

HIGASHI T. et AOMINE S. (1962)

Weathering of montmorillonite in soils.
Soil Sc. and Plant Nutrition, vol. 8, 1 – p. 7/12.

HONEYBORNE D.B. (1951)

The clay minerals in the Keuper Marl.
Clay Min. Bull. 1, 5 – p. 150/157.

JACKSON M.L., HSEUNG Y., COREY R.B., EVANS E.J., VAN DEN HEUVEL R.C. (1952)

Weathering sequence of clay size minerals in soils and sediments. II : Chemical wheathering of layer silicates.
Proc. Soil. Sci. Soc. Amer., vol. 16 – p. 3/6.

JACKSON M.L. (1959)

Frequency distribution of clay minerals in major great soil groups as related to the factors of soil formation.
Proc. of the Sixth Nat. Conf. on clays and clay minerals. Ada Swineford Edit. State Geol Survey, University of Kansas – p. 133/143.

JACKSON M.L. (1963)

Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering.
Proc. on the eleventh Nat. Conf. on clays and clay minerals. W.F. Bradley Edit. University of Texas, Austin – p. 29/46.

JACKSON M.L. (1965)

Clay transformations in soil genesis during the Quaternary.
Soil Sci., U.S.A., t. 99, n° 1 – p. 15/22.

JUSTE C., DUTIL P. (1965)

Importance relative du fer et de l'aluminium dans les sols sableux des Landes de Gascogne.
Science du sol, 1965, vol. 1 – p. 33/42.

JONAS E.C. et THOMAS G.L. (1960)

Hydratation properties of potassium deficient clay micas.
Proc. of the eighth Nat. Conf. on clays and clay minerals. Ada Swineford Edit. University of Oklahoma – p. 183/192.

KLINGEBIEL A. (1961)

Lithostratigraphie comparée des formations éocènes de la basse vallée de la Dordogne.
Thèse 3me cycle, Bordeaux, n° 98 – 81 p.

KLINGEBIEL A., LATOUCHE C. (1962)

Etude cristallographique des illites dans les séries éocènes du Bordelais.
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 255 – p. 142/144.

KLINGEBIEL A. (1964)

Observations sur les sables de recouvrement superficiel dans le Bordelais.
Bull. Serv. Carte Géol. Fr., (C.R. Coll) – p. 165/168.

KLINGEBIEL A. (1964)

Présence de "montmorillonite à une couche d'eau interfoliaire" dans la série paléogène du forage de Coutras.
P.V. de Soc. des Sc. Phys. et Nat. de Bordeaux – 23 janvier 1964 – p. 16.

KUBLER B. (1961)

Sur quelques interstratifiés irréguliers mica-montmorillonite.
Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., t. 14, fasc. 4, p. 173/178.

KULBICKI G. (1957)

Constitution et genèse des sédiments argileux sidérolithiques et lacustres du Nord et du Nord-Est de l'Aquitaine.
Sci. Terre, 4 – p. 5/101.

LAFFORGUE G., RIEDEL C.E., FRANC DE FERRIERE J. (1936)

Les Graves de Bordeaux. Relations entre l'évolution pédologique et la vocation culturale.
Direction des Services Agricoles de la Gironde – 1936 – 112 p.

LATOUCHE C. (1964)

Les minéraux argileux de quelques sols du vignoble girondin.

P.V. Soc. Linn. Bordeaux – Sc. du 3 octobre 1964, sous presse.

LUCAS J., CAMEZ Th., MILLOT G. (1959)

Détermination pratique aux rayons X des minéraux argileux simples et interstratifiés.
Bull. Serv. Carte. Géol. Als. Lorr., 12 – p. 21/33.

LUCAS J. (1961)

Remarques sur les minéraux argileux interstratifiés et leur genèse.
Actes du Coll. Intern. du C.N.R.S., n° 105, "Genèse et synthèse des argiles", Paris – p. 177/190.

LUCAS J. et JEHL G. (1961)

Etude de l'action de la chaleur sur la chlorite et la kaolinite par diffraction des rayons X. Application à la distinction de ces minéraux.
Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 14 – p. 159/173.

LUCAS J. (1962)

La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etude sur les argiles du Trias.
Mem. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 23 – 202 p.

MAC EWAN D.M.C. (1944)

Identification of montmorillonite.
Nature, London – p. 577/578.

MAC EWAN D.M.C. (1947)

Les minéraux argileux de quelques sols écossais.
Verres et Silicates industriels, t. 12 – p. 13/18.

MAC EWAN D.M.C. (1949)

Some notes on the recording and interpretation of X-ray diagramms of soil clays.
Journ. of Soil Science, 1 – p. 90/103.

MAC EWAN D.M.C., RUIZ AMIL A., BROWN G. (1961)

Interstratified clay minerals.
In Brown G. (1961) p. 393/445.

MAIGNIEN R. (1962)

Caractérisation des profils de sols.
Bull. Bibliogr. Pédol., Fr., t. 11, n° 2 – p. 5/17.

MAUGUIN Ch. (1928)

Etude des micas au moyen des rayons X.
Bull. Soc. Fr. Min. Crist., 51 – p. 285/332.

MAUREL P. (1962)

Etude minéralogique et géochimique des formations argileuses des environs de Saint-Affrique (Aveyron).

Bull. Soc. Fr. Min. Crist., 85 – p. 329/374.

MERING J. (1949)

L'interférence des rayons X dans les systèmes à stratification désordonnée.
Acta Cryst., 2 – p. 371/377.

MILLOT G. (1964)

Géologie des argiles.
Masson et Cie Edit., Paris – 499 p.

MITCHELL W.A. (1955)

A review of the mineralogy of scottisch soil clays.
J. Soil Sc., vol. 26 – p. 94/98.

MITCHELL B.D. (1961)

The influence of soil forming factors on clay genesis.
Actes du Coll. Int. du C.N.R.S., n° 105, sur "Genèse et Synthèse des Argiles", Paris – p. 139/147.

MOLLOY M.W. et KERR P.F. (1961)

Diffractometer patterns of A.P.I. reference clay minerals.
The American mineralogist, V. 46 – p. 583/605.

MUMBRUM (De) L.E. (1963)

Conversion of mica to vermiculite by potassium removal.
Soil Sci., U.S.A., t. 96, n° 4 – p. 275/276.

NAGY B. et BRADLEY W.F. (1955)

The structural scheme of sepiolite.
Am. Min., 40 – p. 885/892.

OBERLIN A., TCHOUBAR C. (1957)

Etude en microscopie électronique de l'altération des cristaux de kaolinite.
C.R. Ac. Sc. Fr., 244 – p. 1524/1526.

OBERLIN A., TCHOUBAR C., SCHILLER C., PEZERAT H., KOVACEVIC S. (1961)

Etude du fireclay produit par altération de la kaolinite et de quelques fireclays naturels.
Actes du Coll. Int. du C.N.R.S., n° 105, sur "Genèse et Synthèse des argiles", Paris – p. 45/55.

PAULING L. (1930)

The structure of the micas and related minerals.
Proc. Nat. Acad. Sci. 16, – p. 123/129.

PEDRO G. (1965)

La classification des minéraux argileux.
Ann. Agron., Fr., t. 16, n° 1 h.S., 108 p., 19 fig.

RECHINIAC A. (1962)

Etude sédimentologique des principales formations détritiques du Paléogène aquitain.
Thèse 3me Cycle, Bordeaux, n° 156 – 69 p.

RICHARDS G.E., MAC LEAN E.O. (1963)

Potassium fixation and release by clay minerals and soil clays on wetting and drying.
Soil Sci., U.S.A., t. 95, n° 5 – p. 308/314.

RICH C.I., COOK N.G. (1963)

Formation of dioctahedral vermiculite in Virginia soils.
Proc. of the tenth Nat. Conf. on clays and clay minerals – Ada Swineford Edit., Nat. Res. Counc., University of Texas, Austin – p. 96/106.

RISLER C.E. (1895)

Géologie agricole. Tome III.
Berger Levrault et Cie Edit., Paris, 1895 – 404 p.

RIVIERE A., VISSE L., FRIDMANN R., VERNHET S. (1955)

Nouvelles recherches sur les argiles sédimentaires.
Bull. Gr. Fr. Argiles, 6 – p. 13/18.

ROSS C.S., HENDRICKS S.B. (1945)

Minerals of the montmorillonite group, their origine and relation to soils and clays.
U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 205 B – p. 23/79.

SABATIER G. (1961)

Discussion in LUCAS J. (1961)

SCHOELLER H. (1941)

Les conditions de formations des mollasses et du Sidérolithique de la bordure Nord-Est du Bassin d'Aquitaine.
C.R. Som. Soc. Géol. France, 7 – p. 32/34.

SEGUIN G. (1965)

Etude de quelques profils de sols du vignoble bordelais.
Thèse 3me Cycle, Bordeaux, n° 357 – 107 p.

THIBAULT C. et LATOUCHE C. (1966)

Comportement des minéraux argileux au cours de quelques phases d'altération datant du Quaternaire dans le Bassin de l'Adour.
Congrès des Sociétés Savantes, Rennes, 1/5 avril 1966, sous presse.

TUCKER B.M. (1964)

The solubility of potassium from illites. I. The dependance of solubility on pH.
Austral. J. Soil, Res., t. 2, n° 1 – p. 56/66.

VIGNEAUX M. (1964)

Le Bassin d'Aquitaine.
Mem. Bur. Rech. Géol. et Minières, n° 28, Coll. sur le Paléogène, Bordeaux, Septembre 1962 – p. 177/226.

WEAVER C.E. (1965)

Potassium content of illite.
Science, U.S.A., t. 147, n° 3.658 – p. 603/605.

WHITE J.L., BRONSON R.D., BAILEY G.W. (1961)

X-ray diffraction method for determination of the degree of weathering of micaceous clay mineral in soils.
Acta Universitatis Carolinae, Geologica Supplementum 1 – p. 351/359.

ANNEXES

Annexe I

DOSAGE PAR DIFFRACTOMETRIE X DES CONSTITUANTS MINERAUX DES "SILTS" (1)

Les dosages sont effectués selon la technique dite de "l'étalon interne" suivant un processus comparable à celui décrit par MAUREL (1962). L'utilisation de cette méthode permet d'éviter les erreurs dues, en particulier, aux variations de l'appareil et aux effets de matrice. Le témoin utilisé est la fluorine (CaF_2).

Une courbe d'étalonnage est préalablement établie pour chacun des minéraux à doser :

- quartz
- calcite
- feldspaths

Dans ce but, les mélanges suivants sont préparés :

N°	QUARTZ		CALCITE		FELDSPATHS		ARGILES		FLUORINE
	g	%	g	%	g	%	g	%	g
A	2,5	5	37,5	75	-	-	10	20	10
B	5	10	25	50	-	-	20	40	10
C	12,5	25	12,5	25	-	-	25	50	10
D	25	50	5	10	-	-	20	40	10
E	37,5	75	2,5	5	2,5	5	7,5	15	10
F	45	90	-	-	5	10	-	-	10

Après homogénéisation, trois lames de poudre sont préparées à partir de chaque mélange. Chacune d'elles fait ensuite l'objet de trois passages au diffractomètre.

Pour chacune des 9 mesures ainsi réalisées, le rapport suivant est calculé successivement pour le quartz, la calcite, les feldspaths :

$$\frac{\text{Intensité de la raie du minéral à doser}}{\text{Intensité de la raie de la fluorine}}$$

1. Le terme de "silt" est utilisé ici pour désigner l'ensemble des constituants non argileux présentant une granulométrie inférieure à 50 microns.

Les raies utilisées sont :

Quartz : 3,34 Å	Feldspaths : 3,20 Å
Calcite : 3,03 Å	Fluorine : 3,15 Å

La moyenne des 9 mesures est ensuite retenue pour l'établissement des courbes d'étalonnage. Celles-ci comportent en abcisses les pourcentages du minéral considéré et en ordonnées les valeurs correspondantes des rapports d'étalonnage.

Lors du dosage, 10 g de fluorine sont ajoutés de la même manière à 50 g de poudre à doser. A partir de ce mélange, trois lames de poudre sont réalisées. Un diagramme de chacune d'elles est effectué. La comparaison de la moyenne obtenue pour chacun des trois minéraux à doser avec les valeurs des courbes étalons permet alors une lecture directe des teneurs du sédiment en chacun de ces trois minéraux.

Annexe II

ANALYSE DES ARGILES PAR DIFFRACTOMETRIE X

I. – PREPARATION DES AGREGATS ORIENTES

20 grammes environ d'échantillon sont attaqués par 100 cm^3 de H_2O_2, 20 vol. Par ébullition, la matière organique est détruite et les particules argileuses subissent une première dissociation. Après refroidissement, celle-ci est parachevée mécaniquement en plaçant le mélange dans un agitateur rotatif (type JOUHAND) pendant 30 minutes environ.

Le mélange est alors centrifugé. Le liquide qui surnage est éliminé et remplacé par de l'eau distillée. L'opération est répétée trois fois en moyenne. La suspension, qui doit alors présenter un pH très voisin de la neutralité, s'avère stable. Elle est laissée en décantation pendant 2 H.30 environ. Au bout de ce temps les 3 cm supérieurs ne doivent contenir, en suspension, d'après la loi de STOCKES, que des particules inférieures à 2 microns. Celles-ci sont alors prélevées par pipetage et versées dans une boîte de Pétri au fond de laquelle a été placée une lame porte-objet. Par évaporation à l'étuve à 70°C, les particules s se déposent t et s'orientent sur la lame sous forme d'un film qui constitue un "agrégat orienté". Pour chaque échantillon, trois lames sont ainsi préparées, en vue de la réalisation des trois diagrammes (N, G, Ch).

Remarques :

1. – Dans le cas d'échantillons très riches en matière organique (horizon A en particulier), il a été parfois fait usage de H_2O_2, 110 volumes.

2. – Dans le cas de roches-mères calcaires, la phase argileuse a été extraite par décarbonatation à HCl à froid. L'attaque a été stoppée dès la fin de l'effervescence afin de préserver, autant que possible, la cristallinité des silicates.

Dans ces deux cas, un grand nombre de lavages à l'eau distillée ont été nécessaires pour obtenir des suspensions stables.

II. – CARACTERISTIQUES DU DIFFRACTOMETRE

Le générateur est un appareil CGR, type 20, à tube "ouvert". Le rayonnement utilisé est celui du cuivre, sous une tension de 50 KV et avec un débit de 13 m A. La raie Kα est sélectionnée par un monochromateur GUINIER à cristal de quartz courbe.

Au générateur est accouplé :

- un compteur à scintillation
- une baie d'enregistrement
- un enregistreur MECI type "Speedomax".

Les diagrammes ont été effectués avec une vitesse de balayage du goniomètre de 1° θ en 4 minutes. Le domaine angulaire exploré est compris entre 1 et 14° θ.

III. – INTERPRETATION DES DIFFRACTOGRAMMES

1° – Interprétation qualitative :

L'identification des minéraux a été effectuée d'après les raies caractéristiques citées, pour chacun d'eux, dans le chapitre II de la Première Partie.

2° – Interprétations quantitatives :

Une appréciation semi-quantitative des proportions relatives des différents minéraux argileux a été obtenue par comparaison de l'intensité des raies principales des différents constituants. Selon la méthode préconisée par LUCAS (1962), "tous les minéraux ont été considérés sur un pied d'égalité, sauf la kaolinite, pour laquelle la moitié de la mesure seulement a servi aux calculs".

Dans le cas de pics très étalés, les estimations ont été faites par comparaison des surfaces.

Dans tous les cas, les pourcentages obtenus n'ont pas une valeur absolue. Ils permettent toutefois d'éviter d'avoir recours à des descriptions subjectives et de suivre l'évolution de l'abondance relative des minéraux dans les différents horizons d'un profil.

Annexe III

ANALYSE THERMOGRAVIMETRIQUE

I. – CARACTERISTIQUES DE L'APPAREIL

L'appareil utilisé est une thermo-balance D.A.M., système UGINE-EYRAUD, type B 60, à enregistrement continu.

Les différentes parties de l'appareil présentent les caractéristiques suivantes :

1° - La balance

- portée maximale : 200 g
- sensibilité et fidélité : 0,1 mg environ
- gamme de rééquilibrage utilisée : 0 - 20 mg
- échelle linéaire des variations de poids.

2° - Le four

- température maximale : 1.000° C
- réglage de la montée en température : par rhéostat.

3° - Le couple

Couple platine-platine rhodié fournissant une f.e.m. de 10 micro-volt/° C.

4° - L'enregistreur

Enregistreur potentiométrique A.O.I.P. équipé d'un commutateur de voies permettant l'enregistrement des poids (2/3 du temps) et des températures (1/3 du temps).

II. - UTILISATION DE L'APPAREIL

Les analyses sont effectuées sur la fraction argileuse inférieure à 2 microns, isolée suivant le procédé décrit en annexe 2.

50 mg de cette fraction sont placés dans la nacelle porte-échantillon en quartz et portés progressivement à la température de 900° C environ.

L'alimentation du four ne comportant pas de dispositif de régulation, la montée en température n'est pas absolument linéaire. Avec le réglage utilisé, la température de 750° C est atteinte en 1 H. 30.

III. - DEPOUILLEMENT DES RESULTATS

1° - Thermogrammes

Le diagramme ainsi obtenu est constitué de deux courbes qui ne sont liées que par le facteur "temps" :

- poids (a)
- températures (b).

A partir de ce diagramme, la construction du "thermogramme", exprimant les variations de poids en fonction des températures, nécessite les opérations suivantes (fig. 1 a,b dans le texte) :

- repérage des températures de 25° en 25° C
- mesure, sur la courbe des poids, des déviations correspondant à chacun des points obtenus sur la courbe des températures. Si l'appareil est toujours réglé de telle façon que la déviation étalon correspondant à une perte de 10 mg soit constante, cette mesure peut tenir lieu de mesure de poids. Il suffit, pour cela, de porter ces valeurs sur un graphique comportant en ordonnées, parallèlement à l'échelle des déviations, en mm, une échelle des pertes de poids correspondantes (en %) calculées

une fois pour toutes.

2° – Diagrammes circulaires

Ils sont construits à partir des thermogrammes. Les pertes de poids se produisant dans un intervalle thermique de 100°C (entre 100° et 900°C) sont ici représentées sur 8 rayons faisant entre eux des angles de 45° (fig. 1c dans le texte). Sur chacun d'eux, est porté un vecteur dont la longueur est proportionnelle à l'importance de la perte dans l'intervalle considéré. On obtient ainsi un point sur chaque axe. La jonction des points obtenus fournit une représentation caractéristique de la déshydratation.

Annexe IV

LEGENDE DES ABREVIATIONS UTILISEES DANS LE TEXTE ET LES FIGURES

I. – DESIGNATION DES HORIZONS

Hor. : Ensemble des horizons, comprenant :

1° – A : horizons de surface, subdivisés en :

- A_0 : horizon organique superficiel.
- A_1 : horizon mixte ; mélange de matières organiques et minérales.
- A_2 : horizon pauvre en matière organique, plus ou moins lessivé en fer et en argile.
- A_p : horizon remanié par les cultures.

2° – B : horizons médians souvent enrichis par accumulation en fer et en argile. Ils se distinguent généralement de A et de C par une structure plus compacte (prismatique ou polyédrique) et par une coloration plus vive. Ces horizons sont subdivisés en :

- (B) : horizon d'accumulation peu différencié.
- B_1 : horizon d'accumulation enrichi en matière organique.
- B_2 : horizon d'accumulation enrichi en fer.

3° – C : horizons inférieurs ; roche-mère peu altérée.

4° – G : dans les sols hydromorphes, gley de couleur gris-verdâtre.

5° – g : dans les sols hydromorphes, pseudogley ; horizon à taches grises sur fond ocre.

II. – ABREVIATIONS RELATIVES AUX MINERAUX

1° – Minéraux argileux

- M : montmorillonite, type 15 Å
- M' : montmorillonite, type 12 Å
- I : illite
- Mi : micas
- K : kaolinite
- K_H : kaolinite hydratée
- Ch : chlorite
- Att : attapulgite
- T : talc

- IM : "interstratifiés illite-montmorillonite"
- IV : "interstratifiés illite-vermiculite"
- IC : "interstratifiés illite-chlorite"
- CV : "interstratifiés chlorite-vermiculite"
- C_gV_g : "interstratifiés chlorite gonflante-vermiculite gonflante"
- 10-14 : "interstratifiés" partiellement gonflants de feuillets à 10 Å et de feuillets à 14 Å.

Résultats en % de la phase argileuse ramenée à 100.

2° – Traitements et interprétation des minéraux argileux

- N : diffractogrammes obtenus avec la lame orientée brute.
- G : diffractogrammes obtenus avec la lame orientée saturée en éthylène glycol.
- Ch : diffractogrammes obtenus avec la lame orientée préalablement chauffée à 550° C pendant 1 H.
- Cl_2Mg : diffractogrammes obtenus avec la lame orientée saturée en Cl_2Mg.

3° – Intensité des raies

TF : très forte
F : forte
m : moyenne
f : faible
tf : très faible

4° – Rapport "A"

Ce rapport concerne les micas. Il est égal à :

$$\frac{\text{Intensité de la raie 001}}{\text{Intensité de la raie 002}}$$

III. - ANALYSES ET INTERPRETATIONS PEDOLOGIQUES

1° - Granulométrie

- SG : Sables grossiers (2mm à 200 microns)
- SF : Sables fins (200 à 50 microns)
- L : Sables très fins + limons (inférieurs à 50 microns)
- A : Argiles.

Résultats en % de terre fine.

2° - Carbonates

- C_T : Calcaire total
- C_A : Calcaire actif.

Résultats en % de la terre fine.

3° - Complexe absorbant

Résultats en milli-équivalents (ab. : m.é.) pour 100 g de terre fine.

4° - Définitions des textures et des structures

Elles ont été définies d'après les données de DUCHAUFOUR (1960). Les textures en particulier sont obtenues en reportant les valeurs de la granulométrie dans le triangle proposé par cet auteur.

CLASSIFICATION DES PROFILS EN FONCTION DE LA REPARTITION STRATIGRAPHIQUE DES ROCHES MERES

I. – ROCHES-MERES QUATERNAIRES

1° – Colluvions	N° du profil
PESSAC	24
2° – Alluvions récentes	
LA BREDE	16
LA BREDE	34
BLANQUEFORT	35
BLANQUEFORT	32
3° – Sable des Landes	
BLANQUEFORT	29
4° – Limons quaternaires	
SAINT-SAUVEUR (Dordogne)	18
5° – Alluvions anciennes	
BRUGES (Terrasse inférieure)	27
CANTENAC (Terrasse moyenne)	26
BEAUTIRAN (Terrasse moyenne)	28
MERIGNAC (Terrasse supérieure)	31

II. – ROCHES-MERES TERTIAIRES

1° – Pliocène	N° du profil
ESPIET (Limons)	19
MOMBRIER (Graves)	22
MOMBRIER (Graves)	21

2° – Oligocène	N° du profil
MONTAGNE (Stampien et argile de décalcification)	8
PUJOLS (Stampien et limons)	10
MONTAGNE (Stampien)	7
PRIGNAC et CAZELLES (Stampien)	5
LALANDE ("Molasse du Fronsadais")	14
MONTUSSAN ("Molasse du Fronsadais")	13
TEUILLAC (Sannoisien)	15
SAINT-ESTEPHE (Sannoisien)	11
COUTRAS ("Sables du Périgord" et limons)	33
SAINT-MARTIN DE COUX ("Sables du Périgord")	25
SAINT-MARTIAL L'ARTENSET ("Sables du Périgord")	23
3° – Eocène	
BLAYE ("Marnes à Ostrea bersonensis")	6
BLAYE ("Calcaire de Plassac")	1
BLAYE ("Marnes à Ostrea cucullaris")	3
ILLBARITZ (Lutétien)	12

III. – ROCHES-MERES SECONDAIRES

1° – Crétacé supérieur	
DOUCHAPT (Campanien et "Terra Rossa")	9
GEMOZAC (Campanien et "Terra Fusca")	4
CHENAC (Campanien)	2
2° – Crétacé inférieur	
NISTOS (Aptien)	37

IV. - ROCHES-MERES PRIMAIRES

COL D'ESTIVERE 36
(Permo-Trias)

V. - ROCHES-MERES COMPLEXES

SAINT-SAUVEUR (Gironde 20
("Sable des Landes" et terrasse ancienne)
MARTIGNAS 30
("Sable des Landes" et terrasse ancienne)

VI. - ROCHES-MERES METAMORPHIQUES ET ERUPTIVES

SAINT-MESMIN 40
(schistes)
ANGLET 17
(ophite)
Col de la LHOZE 38
(granite)
LACAPELLE VIESCAMP 39

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 – Analyse thermogravimétrique – Présentation des résultats.

Fig. 2 – Représentation schématique des deux couches fondamentales des minéraux argileux.

Fig. 3 – Architecture générale des principaux minéraux argileux phylliteux.

Fig. 4 – Distribution des cristallites en fonction de leur taux d'interstratification.

Fig. 5 – Diffractogrammes d'une kaolinite de sol latéritique.

Fig. 6 – Diffractogrammes de la phase argileuse d'un sol sur terrasse alluviale à graviers. SAINT-JULIEN (Gironde).

Fig. 7 – Analyses thermopondérales de quelques minéraux du groupe de la kaolinite.

Fig. 8 – Photographie au microscope électronique d'une kaolinite mal cristallisée. Sol sur terrasse à graviers. SAINT-JULIEN (Gironde).

Fig. 9 – Photographie au microscope électronique d'une kaolinite de type "fire-clay". Sol sur terrasse à graviers. SAINT-JULIEN (Gironde).

Fig. 10 – Diffractogrammes d'une phase argileuse à micas. Sol sur Permo-Trias. Col d'ESTIVERE (Haute-Garonne). Roche-mère altérée.

Fig. 11 – Evolution du rapport A en fonction de la taille des particules dans diverses argiles de sols.

Fig. 12 – Diffractogrammes de la phase argileuse des marnes lutétiennes. ILLBARITZ (Basses-Pyrénées).

Fig. 13 – Diffractogrammes de la phase argileuse d'un sol brun sur marnes lutétiennes. ILLBARITZ (Basses-Pyrénées).

Fig. 14 – Analyses thermopondérales de quelques montmorillonites.

Fig. 15 – Diffractogrammes de la phase argileuse d'un sol podzolique sur terrasse ancienne. BEAUTIRAN (Gironde).

Fig. 16 – Analyse thermopondérale d'une argile vermiculitique de sol. BEAUTIRAN (Gironde).

Fig. 17 – Photographie au microscope électronique d'un cristal d'une phase argileuse à vermiculite. Sol sur terrasse ancienne. BEAUTIRAN (Gironde).

Fig. 18 – Diagramme de microdiffraction électronique du cristal de la figure 17.

Fig. 19 – Diffractogrammes d'une phase argileuse à chlorite. Schistes altérés de la vallée de l'Auvézère.

Fig. 20 – Photographie au microscope électronique d'un cristal de chlorite. Echantillon de référence.

Fig. 21 – Argile à attapulgite et illite. Sol sur calcaire lacustre de Plassac. BLAYE (Gironde).

Fig. 22 – Photographie au microscope électronique d'une phase argileuse à attapulgite. Sol sur calcaire lacustre de Plassac. BLAYE (Gironde).

Fig. 23 – Phase argileuse à interstratifié illite-montmorillonite. Sol sur argile du Permo-Trias. PAZAYAC (Dordogne).

Fig. 24 – Photographie au microscope électronique d'une phase argileuse à interstratifié illite-montmorillonite.

Fig. 25 – Phase argileuse à interstratifié illite-vermiculite. Sol sur granite. Col de la LHOZE (Pyrénées-Orientales).

Fig. 26 – Phase argileuse à interstratifié chlorite-vermiculite. Sol sur granite. LACAPELLE-VIESCAMP (Cantal).

Fig. 27 – Diffractogrammes de la phase argileuse d'un sol à gley. Echantillon brut. BLANQUEFORT (Gironde).

Fig. 28 – Diffractogrammes de la phase argileuse d'un sol à gley. Echantillon traité à $MgCl_2$.

Fig. 29 – Esquisse géologique du nord de l'Aquitaine.

Fig. 30 – Sols calcimorphes.

Fig. 31 – CHENAC (Charente-Maritime). Diffractogrammes (N) des phases argileuses.

Fig. 32 – DOUCHAPT (Dordogne). Sol sur Crétacé. Horizon superficiel. Analyse thermogravimétrique.

Fig. 33 – PUJOLS (Gironde). Etude thermogravimétrique des phases argileuses.

Fig. 34 – Sols calcimorphes : Composition et évolution des phases argileuses.

Fig. 35 – Sols évolués à mull.

Fig. 36 – ANGLET (Basses-Pyrénées). Influence des ions Mg^{++} sur la régularité des réseaux vermiculitiques.

Fig. 37 – MOMBRIER (Gironde). Profil 21 – Coupe pédologique et diffractogrammes (N) des phases argileuses.

Fig. 38 – MOMBRIER (Gironde). Profil 22 – Coupe pédologique et diffractogrammes (N) des phases argileuses.

Fig. 39 – MOMBRIER (Gironde). Profil 21 – Etude thermogravimétrique des phases argileuses.

Fig. 40 – MOMBRIER (Gironde). Profil 22 – Etude thermogravimétrique des phases argileuses.

Fig. 41 – Sols évolués à humus brut.

Fig. 42 – BRUGES (Gironde). Etude thermogravimétrique des phases argileuses.

Fig. 43 – BEAUTIRAN (Gironde). Etude thermogravimétrique des phases argileuses.

Fig. 44 – MARTIGNAS (Gironde). Diffractogrammes (N) des phases argileuses.

Fig. 45 – Sols hydromorphes.

Fig. 46 – BLANQUEFORT (Gironde). Diffractogrammes (N) des phases argileuses.

Fig. 47 – Sols de montagne.

Fig. 48 – SAINT-MESMIN (Dordogne). Diffractogrammes "chaleur" des phases argileuses.

Fig. 49 – Teneurs en potassium assimilable et pourcentages en montmorillonite.

Fig. 50 – Teneurs en potassium assimilable et pourcentages en kaolinite.

Fig. 51 – Teneurs en potassium assimilable et pourcentages en illite.